

Aus dem Institut für Phytopathologie
der Justus Liebig-Universität zu Gießen

Direktor: Prof. Dr. F. Großmann

**Einfluß von Wachstumsregulatoren
und chemisch verwandten Verbindungen
auf verschiedene Tomatenkrankheiten**

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der Landwirtschaftlichen Fakultät
der Justus Liebig-Universität Gießen

eingereicht von

Heinrich Buchenauer

Diplom-Landwirt

aus Warzenbach, Kreis Marburg

1970

Aus dem Institut für Phytopathologie
der Justus Liebig-Universität zu Gießen
Direktor: Prof. Dr. F. Großmann

**Einfluß von Wachstumsregulatoren
und chemisch verwandten Verbindungen
auf verschiedene Tomatenkrankheiten**

Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
der Landwirtschaftlichen Fakultät
der Justus Liebig-Universität Gießen

eingereicht von

Heinrich Buchenauer

Diplom-Landwirt

aus Warzenbach, Kreis Marburg

Aus dem Institut für Pflanzenerkrankungslehre
der Justus-Liebig-Universität zu Gießen
Direktor: Prof. Dr. F. Großmann

Einfluß von Witterungsbedingungen
und chemisch verwandten Verbindungen
auf verschiedene Tomatenkrankheiten

Dissertation

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Prof. Dr. F. Großmann

1. Berichterstatter: Prof. Dr. F. Großmann

2. Berichterstatter: Prof. Dr. H. Linser

Tag der mündlichen Prüfung: 6.II. 1970

Inhaltsverzeichnis

	Seite
<u>1. EINLEITUNG</u>	1
<u>2. MATERIAL UND METHODEN</u>	3
2.1. <u>Anzucht des Infektionsmaterials</u>	3
2.1.1. <u>Fusarium oxysporum</u> f. <u>lycopersici</u> (Sacc.) Snyder & Hansen und <u>Verticillium alboatrum</u> Reinké & Berth.	3
2.1.2. <u>Phytophthora infestans</u> de By.	3
2.2. <u>Anzucht der Tomatenpflanzen</u>	4
2.3. <u>Inokulationsmethoden</u>	4
2.3.1. <u>Fusarium</u> und <u>Verticillium</u>	4
2.3.2. <u>Phytophthora</u>	5
2.4. <u>Applikation der Wirkstoffe</u>	5
2.5. <u>Versuchsauswertungen</u>	5
2.5.1. <u>Fusarium</u> und <u>Verticillium</u>	5
2.5.2. <u>Phytophthora</u>	6
2.6. <u>Fungitoxizitäts-Untersuchungen</u>	7
2.6.1. <u>Agarplattentest</u>	7
2.6.1.1. <u>Fusarium</u> und <u>Verticillium</u>	7
2.6.1.2. <u>Phytophthora</u>	7
2.6.2. <u>Nährlösungstest mit Phytophthora</u>	8
2.6.3. <u>Sporenkeimtest</u>	8
2.6.3.1. <u>Konidienkeimtest mit Fusarium</u> und <u>Verticillium</u>	9
2.6.3.2. <u>Zoosporenkeimtest mit Phytophthora</u>	10
2.7. <u>Rückisolierungen</u>	10
2.8. <u>Exsudatgewinnung, Aufarbeitung und Unter- suchung auf Aminosäuren</u>	11
2.9. <u>Polyphenoloxydase- und Peroxydase-Bestimmung</u>	12
2.10. <u>Herkunft der verwendeten Wirkstoffe und Therapeutika</u>	12
2.11. <u>Statistische Auswertung der Ergebnisse</u>	12

	Seite
<u>3. ERGEBNISSE</u>	13
<u>3.1. Versuche mit Wachsthemmstoffen (CCC, CMH, Amo-1618, Phosfon-D, B-995)</u>	13
3.1.1. Einführung	13
3.1.2. Ergebnisse der Versuche in vivo	18
3.1.2.1. <u>Fusarium</u>	18
3.1.2.2. <u>Verticillium</u>	26
3.1.2.3. <u>Phytophthora</u>	28
3.1.3. Ergebnisse der Versuche in vitro	29
3.1.3.1. <u>Fusarium</u>	29
3.1.3.2. <u>Verticillium</u>	31
<u>3.2. Versuche mit Morphaktinen</u>	31
3.2.1. Einführung	31
3.2.2. Ergebnisse der Versuche in vivo	34
3.2.2.1. <u>Fusarium</u>	34
3.2.2.2. <u>Verticillium</u>	37
3.2.2.3. <u>Phytophthora</u>	39
3.2.3. Ergebnisse der Versuche in vitro	39
3.2.3.1. Fungitoxizitäts-Untersuchungen	39
3.2.3.1.1. <u>Fusarium</u>	39
3.2.3.1.2. <u>Verticillium</u>	41
3.2.3.2. Untersuchung der Blutungssäfte auf Aminosäuren	42
<u>3.3. Versuche mit Fluoren-Derivaten</u>	42
3.3.1. Einführung	42
3.3.2. Ergebnisse der Versuche in vivo	44
3.3.2.1. <u>Fusarium</u>	44
3.3.2.2. <u>Verticillium</u>	60
3.3.2.3. <u>Phytophthora</u>	69
3.3.3. Ergebnisse der Versuche in vitro	78
3.3.3.1. Fungitoxizitäts-Untersuchungen	78
3.3.3.1.1. <u>Fusarium</u>	78
3.3.3.1.2. <u>Verticillium</u>	82
3.3.3.1.3. <u>Phytophthora</u>	86
3.3.3.2. Polyphenoloxydase- und Peroxydase-Aktivität	89

	Seite
3.4. <u>Versuche mit Phenanthren-Derivaten</u>	93
3.4.1. Einführung	93
3.4.2. Ergebnisse der Versuche in vivo	94
3.4.2.1. <u>Fusarium</u>	94
3.4.2.2. <u>Verticillium</u>	103
3.4.2.3. <u>Phytophthora</u>	108
3.4.3. Ergebnisse der Versuche in vitro	108
3.4.3.1. <u>Fusarium</u>	108
3.4.3.2. <u>Verticillium</u>	109
3.5. <u>Versuche mit Xanthen-Derivaten</u>	111
3.5.1. Einführung	111
3.5.2. Ergebnisse der Versuche in vivo	112
3.5.2.1. Morphoregulatorische Aktivität von Xanthen-9-carbonsäure	112
3.5.2.2. Wirkung gegen die <u>Fusarium</u> -Welke	114
3.5.3. Ergebnisse der Versuche in vitro	119
4. <u>DISKUSSION</u>	121
5. <u>ZUSAMMENFASSUNG</u>	142
6. <u>SCHRIFTTUM</u>	148

1. EINLEITUNG

Die rasche Entwicklung auf dem Gebiet der Pflanzenphysiologie hat in den letzten Jahren auch zu neuen Einsichten über diejenigen Stoffe geführt, die das Wachstum der Pflanzen regulieren. Zu den schon länger bekannten Auxinen (Wuchsstoffe vom Typ der Indolelessigsäure) traten die Gibberelline und die Phytokinine (Wuchsstoffe vom Typ des Kinetins) sowie der native Hemmstoff Dormin. Daneben wurde eine Reihe synthetischer Wachstumsregulatoren entwickelt, welche die natürlichen Wuchsstoffe in ihrer Wirkung teilweise unterstützen, teils hemmen. Da sie die Entwicklung und Ausbildung von Geweben und Organen verändern, werden sie von LINSER und KIERMAYER (1958) auch als Morphoregulatoren bezeichnet.

Substanzen mit Wuchsstoff- oder Inhibitor-Charakter können den pflanzlichen Stoffwechsel vielfältig und tiefgreifend beeinflussen. Es ist daher verständlich, daß sie auch die Krankheitsbereitschaft der Pflanzen in der einen oder anderen Richtung verändern können. So sind in den letzten Jahren eine Reihe von Fällen bekannt geworden, in denen die Anwendung von Wachstumsregulatoren die Resistenz der Pflanzen gegen Krankheiten und Schädlinge entweder erhöhte oder auch verminderte.

Nach KIRÁLY et al. (1962) konnte durch Vorquellen von Weizensaatgut in Gibberellinsäure-Lösung der Befall durch Weizensteinbrand (Tilletia foetida) gesenkt werden. Behandlung von Kartoffelblättern mit Gibberellinsäure verminderte deren Anfälligkeit gegen Phytophthora infestans in geringem Maße, während die Auxine 2,4,6-Trichlorphenoxyessigsäure (Na-Salz) und α -Naphthylelessigsäure (Na-Salz) keinen Einfluß zeigten (WEINDLMAYR 1961). Durch niedrige Gibberellinsäure-Gaben konnte die Widerstandsfähigkeit der Tomatenpflanzen gegenüber Fusarium oxysporum f. lycopersici und Verticillium alboatrum leicht erhöht, jedoch durch stärkere Wirkstoffkonzentrationen erheblich vermindert werden

(DIMOND und CORDEN 1957, SINHA und WOOD 1967).

Auch Auxine (z.B. Indoleessigsäure, 2,4-Dichlorphenoxyessigsäure) sowie Antiauxine (z.B. 2,3,5-Trijodbenzoesäure = TIBA) wirken in geeigneten Konzentrationen auf die Fusarium- (DAVIS und DIMOND 1953, 1956) und Verticillium-Welke an Tomaten (SINHA und WOOD 1967) befallssenkend.

Da alle genannten Wirkstoffe das Wachstum der Pilze in vitro nicht beeinträchtigen, dürfte ihr krankheitsbeeinflussender Effekt auf veränderten stoffwechselphysiologischen Eigenschaften der Wirtspflanze beruhen. So läßt sich einerseits die durch Wachstumsregulatoren induzierte Resistenz gegenüber der Fusarium-Welke an Tomaten wenigstens z.T. auf Änderungen der Wandstruktur, wie beispielsweise veränderte Zusammensetzung der Pektine, zurückführen (EDGINGTON 1961). Andererseits kann sie aber auch durch vielfältige physiologisch-chemische Veränderungen hervorgerufen werden. Zunächst ist es möglich, daß infolge des Einflusses solcher chemischer Verbindungen notwendige Nähr- und Wirkstoffe für das Wachstum des Parasiten in unzureichendem Umfang in der Pflanze produziert werden; zum anderen kann eine verstärkte Synthese von Stoffen ausgelöst werden, die sowohl die Entwicklung des Erregers als auch die von ihm ausgeschiedenen Enzyme bzw. Toxine hemmen. Bekanntlich erhöhen die Auxine den Gehalt an reduzierenden Zuckern in der Wirtspflanze, und in engem Zusammenhang damit steht die verminderte Anfälligkeit gegenüber der Fusarium-Welke, die nach HORSFALL und DIMOND (1957) als "low sugar disease" anzusehen ist. PATIL und DIMOND (1967a) führten diesen Befund auf eine verminderte Polygalacturonase (PG)-Synthese bei Fusarium zurück.

Ziel unserer Untersuchungen war es, Wachstumsregulatoren und chemisch nah verwandte Verbindungen auf ihren Einfluß gegenüber zwei Gefäßparasiten (Fusarium oxysporum f. lycopersici und Verticillium albo-atrum) und einem Blattfäuleerreger (Phytophthora infestans) an Tomatenpflanzen zu prüfen.

2. MATERIAL UND METHODEN

2.1. Anzucht des Infektionsmaterials

2.1.1. Fusarium oxysporum f. lycopersici (Sacc.) Snyder & Hansen¹⁾ und Verticillium alboatrum Reinke & Berth.²⁾

Die Anzucht des Pilzmaterials wurde auf Czapek-Dox-Nähr-
lösung (MÜLLER und MELCHINGER 1964) durchgeführt. Je 80 ml
dieses Mediums wurden in 300 ml-Erlenmeyerkolben gefüllt
und autoklaviert. Anschließend wurde das Nährmedium mit
jeweils einem myzeltragenden Agarstückchen beimpft. Fusarium
oxysporum f. lycopersici wurde bei 27°C etwa 10 Tage lang,
Verticillium alboatrum bei Zimmertemperatur (19-21°C) unge-
fähr 20 Tage lang inkubiert. Zur Infektion der Tomaten-
pflanzen wurden mit Leitungswasser verdünnte, homogenisierte
Suspensionen dieser Pilzkulturen hergestellt.

2.1.2. Phytophthora infestans de By.³⁾

Der Erreger wurde zur Erhaltung und Vermehrung auf den
Schnittflächen von frischen Kartoffelknollen-Hälften kultivi-
ert. Zu diesem Zweck wurden mittelgroße, gesunde Kartoffel-
knollen (Sorte Feldeslohn) sorgfältig mit Leitungswasser
gereinigt, mit einem desinfizierten Messer halbiert und an-
schließend beimpft. Es erwies sich zur Vermeidung von Bak-
terienverunreinigungen als vorteilhaft, die frischen Schnitt-
flächen unmittelbar vor und nach der Inokulation mit steri-
lem Filterpapier zu trocknen. Anschließend wurden die ent-
sprechenden Knollenhälften zusammengeklappt und in einer
abgedeckten Schale bei Zimmertemperatur aufbewahrt. Nach
2 Tagen wurden die Hälften wieder voneinander getrennt.
Nach weiteren 2 bis 3 Tagen waren die Schnittflächen von einem
Myzelrasen überzogen, der zur Bereitung der Sporangiensus-
pensionen mit einer dünnen Nadel von den Schnittflächen
abgehoben und in destilliertes Wasser übertragen wurde.

Herkunft von:

- 1) Fusarium oxysporum f. lycopersici, erhalten unter der Be-
zeichnung Nr. ETH 5412 aus dem Institut für spezielle
Botanik der ETH Zürich
- 2) Verticillium alboatrum, isoliert aus Tomaten, erhalten
aus dem Imperial College Botany Department, Prince Consort
Road, London, S.W.7
- 3) Phytophthora infestans (Rasse 1,2,3,4), im Herbst 1968
aus Kartoffeln isoliert, erhalten von Dr. J. Ullrich,
Biolog. Bundesanstalt, Institut f. Botanik, Braunschweig

Durch Filtration über feinmaschiges Sarangewebe wurden die Sporangien weitgehend vom Myzel getrennt. Diese Suspension diente einmal zur Weitervermehrung des Pilzes auf Kartoffelhälften und zum anderen zur Inokulation der Tomatenpflanzen.

2.2. Anzucht der Tomatenpflanzen

Tomatensamen der Sorte "Bonny Best" wurden in einem zuvor autoklavierten Sand-Erde-Gemisch (1:2) ausgesät. Nach einmaligem Pikieren im Primärblattstadium erfolgte die Weiterzucht der jungen Pflanzen (2. Laubblatt) in Töpfen mit Flußsand (250 g/Topf). Sie erhielten täglich 50 ml Nährlösung nach Hoagland in folgender Zusammensetzung:

Ca (NO ₃) ₂ x 4 H ₂ O	1,182 g	
KNO ₃	0,506 g	
KH ₂ PO ₄	0,136 g	
MgSO ₄	0,246 g	in 1000 ml dest. Wasser
Ferrichlorid-Lösung (0,5%)	1,0 ml	
Spurenelement-Lösung	1,0 ml	

Die nach Hoagland abgewandelte Spurenelement-Lösung enthielt folgende Komponenten in 1 l destilliertem Wasser:

Mn Cl ₂ x 4 H ₂ O	7,0 g
H ₃ BO ₃	11,0 g
Zn SO ₄	1,0 g
Cu SO ₄ x 5 H ₂ O	1,0 g

2.3. Inokulationsmethoden

2.3.1. Fusarium und Verticillium

Die Infektion der Tomatenpflanzen mit diesen Welkeerregern erfolgte im 7- bis 8-Blattstadium. Hierzu wurden die Wurzeln unter fließendem Leitungswasser vom Sand befreit und leicht eingekürzt. Anschließend wurden sie in die Myzel-Konidien-Suspension von Fusarium oxysporum f. lycopersici bzw. Verticillium albo-atrum für 20 bis 30 Minuten getaucht und schließlich wieder in Töpfe mit je 500 g Flußsand eingepflanzt. Während der Versuche mit Verticillium standen die Tomatenpflanzen im Gewächshaus bei Temperaturen um 20°C, bei Fusarium wurde nach Möglichkeit eine Dauertemperatur von 27°C angestrebt. Beide Temperaturen konnten aber aus

technischen Gründen nicht immer eingehalten werden.

2.3.2. Phytophthora infestans

Zur Inokulation der Tomatenpflanzen mit Phytophthora infestans wurde die Sporangiensuspension, deren Dichte zuvor mit einer Thoma-Zählkammer bestimmt und dann auf etwa 40000 Sporangien/ml eingestellt worden war, mit einem Zerstäuber auf die Oberseite der Blätter gesprüht. Die Menge an Suspension betrug ca. 4 ml pro Pflanze im 6- bis 8-Blattstadium. Unmittelbar danach wurden die Testpflanzen in Inkubationskammern (100 x 70 x 50 cm), welche mit Plastikfolien überspannt waren, bei einer Temperatur von 20°C aufgestellt. Durch eine Schicht nassen Torfes auf dem Boden der Inkubationskästen wurde für eine hohe relative Luftfeuchte gesorgt. In diesen feuchten Kammern verblieben die Pflanzen während der gesamten Versuchsdauer, lediglich zu den Auswertungen wurden die Kästen abgenommen.

2.4. Applikation der Wirkstoffe

Die Anwendung der zu testenden Substanzen erfolgte sowohl in Form von Blatt- wie auch von Wurzelbehandlung. Bei Applikation der Präparate über die Wurzeln der Tomatenpflanzen (50 bzw. 100 ml/Topf) wurden entweder ausschließlich prä- oder postinfektionelle Behandlungen oder auch beide kombiniert durchgeführt. Bei Blattanwendungen wurden die Verbindungen in Versuchen mit den Welkeerreger vor und nach der Infektion, in den Versuchen mit Phytophthora jedoch nur präinfektionell auf die Pflanzen gesprüht.

2.5. Versuchsauswertungen

2.5.1. Fusarium und Verticillium

Zwei bis vier Wochen nach der Inokulation wurden die mit Fusarium bzw. Verticillium infizierten Pflanzen auf ihre Welkesymptome und abschließend auch auf die Gefäßbräunung in den Stengeln beurteilt (DIMOND et al. 1952, GROSSMANN 1962a). Jedes Versuchsglied bestand aus 6 Wiederholungen. Die Beurteilung der Welkeerscheinungen jedes einzelnen Blattes erfolgte nach folgendem Schlüssel:

0 = keine Symptome

1 = leichte Vergilbung an der Blattspitze und/oder
Epinastie

- 2 = mittelstarke Symptome, 50% der Blattfläche vergilbt und/oder schlaff
3 = starke Symptome, Blattfläche mehr als 50% vergilbt oder welk
4 = Blatt abgefallen oder abgestorben

Die Berechnung des Welke-Index einer Pflanze wurde wie folgt durchgeführt:

$$\text{Welke-Index} = \frac{\text{Summe der Blattbenotungen}}{\text{Zahl der Blätter} \times 4} \times 100$$

Zur Auswertung der Gefäßbräunung wurden die Stengel in jedem Internodium einmal durchgeschnitten und auf die Bräunung der drei Hauptgefäßbündel nach folgender Skala beurteilt:

- 0 = keine Bräunung der 3 Hauptgefäßbündel
1 = ein Gefäßbündel gebräunt
2 = zwei Hauptgefäßbündel gebräunt
3 = alle drei Gefäßbündel gebräunt

Der Index für die Gefäßbräunung einer Pflanze errechnete sich folgendermaßen:

$$\text{Index der Gefäßbräunung: } \frac{\text{Summe der Gefäßbündelbenotungen}}{\text{Zahl der durchschnittlichen Internodien} \times 3} \times 100$$

2.5.2. Phytophthora

Die erste Auswertung erfolgte gewöhnlich am 3. Tage nach der Inokulation; zu diesem Zeitpunkt waren bereits die ersten Symptome erkennbar. Die weiteren Auswertungen wurden dann täglich oder jeden 2. Tag bis einschließlich zum 6. Tag durchgeführt. In Anlehnung an HORSFALL und BARRATT (1945) wurde ein Bonitierungsschema zur Auswertung des Phytophthora-Befalls an den Blättern der Tomatenpflanzen gewählt, das der Unterscheidungsfähigkeit des menschlichen Auges entgegenkommt. Denn das menschliche Auge unterscheidet weniger lineare Abstufungen, sondern richtet sich vielmehr entsprechend dem Weber-Fechner'schen Gesetz nach dem Logarithmus der Lichtintensität.

Die einzelnen Blätter wurden wie folgt eingestuft:

- 0 = kein Befall
1 = bis 10%
2 = 10 bis 30%
3 = 30 bis 70%

4 = 70 bis 90 % und

5 = mehr als 90 % der Blattfläche befallen/oder
Blatt fehlend

2.6. Fungitoxizitätsuntersuchungen

Es war ferner von Interesse zu untersuchen, inwieweit die Hemmung des Befalls an den Pflanzen unmittelbar auf fungitoxische bzw. fungistatische Eigenschaften der Wirkstoffe zurückzuführen ist.

2.6.1. Agarplattentest

2.6.1.1. Fusarium und Verticillium

Die Substanzen wurden in bestimmten Konzentrationen einem Czapek-Dox-Agar hinzugefügt, in Petrischalen ausgegossen und nach Beimpfung mit Fusarium- bzw. Verticillium-bewachsenen Agarscheibchen (Durchmesser 6 mm) der tägliche Zuwachs an Myzel gemessen. Es wurde bei der Bereitung des Nährbodens in der Regel so vorgegangen, daß dem bereits autoklavierten Czapek-Dox-Agar bei 50 bis 60°C ein Prozent einer sterilen Wirkstofflösung - je nach Löslichkeit der einzelnen Verbindungen in Wasser oder Azeton - hinzugefügt wurde. Somit betrug die Wirkstoffkonzentration in den Nährböden jeweils 1/100 der Ausgangslösung in Azeton oder Wasser. Zum Teil wurden die Präparate auch zusammen mit dem Nährboden autoklaviert. Der Kontrolle wurde an Stelle der Wirkstofflösung dest. Wasser zugesetzt. Die Inkubationstemperatur betrug für Fusarium 27°C, für Verticillium 19 bis 21°C. Jedes Versuchsglied bestand aus 6 Wiederholungen.

2.6.1.2. Phytophthora

Da Phytophthora auf dem Czapek-Dox-Nährboden nicht wuchs, wurde folgendes Erbsen-Nährmedium¹⁾ verwendet. Ungefähr 300 g junge, tiefgefrorene Erbsen wurden in 1,5 l dest. Wasser nach Zugabe von 7,5 g Glukose 15 Minuten lang gekocht, durch ein Leinentuch filtriert und dem Filtrat 2% Agar hinzugesetzt.

1) Für die Überlassung der Angaben zu diesem Nährmedium danke ich Herrn Dr. Fehrmann, Institut für Phytopathologie der Universität Gießen.

Jeweils gleichen Mengen Nährboden wurden vor dem Ausgießen in Petrischalen bei 50 bis 60°C ein Prozent des in Azeton gelösten, zu prüfenden Wirkstoffes hinzugegeben. Nach Beimpfung mit Myzelstückchen aus jungen Plattenkulturen von Phytophthora infestans wurden die Schalen bei Zimmertemperatur (19 bis 21°C) aufgestellt und der Myzelzuwachs in der üblichen Weise gemessen.

2.6.2. Nährlösungstest mit Phytophthora

Für Flüssigkeitskulturen in Erlenmeyerkolben (100 ml) wurde nach FEHRMANN¹⁾ folgende Nährlösung verwendet:

20 g Glukose	
1 g KH_2PO_4	
0,5 g $\text{MgSO}_4 \times 7 \text{ H}_2\text{O}$	
0,1 g NaCl	in 1000 ml dest. Wasser,
0,1 g CaCl_2	auf pH 5,5 eingestellt
0,1 ml 0,01%ige Thiamin-Lösung	
0,5 ml 1%ige FeCl_3 -Lösung	

Nach Sterilisation der je 25 ml Nährmedium enthaltenden Kölbchen wurden die keimfreien Wirkstofflösungen den verschiedenen Versuchsreihen hinzugesetzt. Die Kontrollreihe erhielt an Stelle des Wirkstoffes dest. Wasser. Jede Substanz lag in den Konzentrationen 10^{-3}M , 10^{-4}M und 10^{-5}M vor und jedes Versuchsglied bestand aus 6 Wiederholungen. Nach Beimpfung mit bewachsenen Agarscheibchen (6 mm) wurden die Kulturen bei Zimmertemperatur (19-21°C) aufgestellt. Die Auswertung erfolgte nach 16 Tagen, zu einem Zeitpunkt, an dem die Nährlösung mehrerer Versuchsreihen bereits von Phytophthora bewachsen war. Zur Trockengewichtsbestimmung des Myzels wurden die Pilzmatten über getrocknetes und gewogenes Filterpapier (Schleicher & Schüll Nr. 250a) abfiltriert. Nach 3-stündigem Erhitzen auf 105°C wurde, nach Abzug des Papiergewichtes, die Myzeltrockenmasse festgestellt.

2.6.3. Sporenkeimtest

Da häufig die Sporenkeimung stärker durch Hemmstoffe beeinflusst wird als das Myzelwachstum, wurde zusätzlich noch

1) s. Fußnote S. 7

der Sporenkeimtest in die Toxizitätsprüfungen einbezogen.

2.6.3.1. Konidienkeimtest mit Fusarium und Verticillium

Da die Keimung der Pilzsporen leicht durch Verunreinigungen beeinträchtigt werden kann, mußte besonderer Wert auf größte Sauberkeit der benötigten Glasgeräte gelegt werden. Daher wurden Pipetten, Objektträger und Reagensgläser mehrere Stunden lang in eine heiße 5%ige 7X-Lösung (Serva, Heidelberg) gelegt, mehrmals mit dest. Wasser gespült und im Trockenschrank bei 150°C getrocknet.

Die Gewinnung der Sporensuspension erfolgte in der Weise, daß junges Myzel zusammen mit den Mikrokonidien mit sterilem dest. Wasser von den Agarplatten abgeschwemmt wurde. Die Trennung der Konidien vom Myzel erfolgte durch Filtration durch engmaschiges Sarangewebe. Die gewünschte Dichte von rund 80000 Mikrokonidien pro ml konnte nach Auszählung in einer Thoma-Zählkammer durch Verdünnung eingestellt werden. Nachdem die verschiedenen Wirkstofflösungen in bestimmten Dosierungen ($2 \times 10^{-3}M$, $2 \times 10^{-4}M$ und $2 \times 10^{-5}M$) zubereitet waren, wurden je 1 ml Substanzlösung und 1 ml Sporensuspension im Reagensglas gut gemischt. Sowohl die Dichte der Sporensuspension als auch die Konzentration der zu prüfenden Substanzen verringerten sich somit um die Hälfte. Anstatt des Wirkstoffanteils erhielt die Kontrolle 1 ml dest. Wasser. Dann wurden Objektträger mit je 3 Paraffinringen (Durchmesser 12 mm) versehen und in diese jeweils 2 Tropfen der Konidiensuspension pipettiert. Die Objektträger mit den Sporen wurden in eine feuchte Kammer gelegt und je nach Pilzart bei verschiedenen Temperaturen unterschiedlich lange im Dunkeln aufbewahrt, wobei die Inkubationsdauer von der Länge der Keimschläuche abhing. Für Fusarium betrug die Temperatur 27°C und die Zeit für die Keimung 10-12 Stunden, für Verticillium waren die entsprechenden Werte 19-21°C und etwa 20 Stunden. Nach der Inkubation wurden die Sporen und Keimhyphen in den Paraffinringen durch Zugabe je eines Tropfens einer Lactophenol-Baumwoll-Lösung fixiert und angefärbt. Am Rande eines jeden Paraffinringes wurde von 100 Konidien der

Anteil gekeimter Sporen ausgezählt und die Länge von etwa 20 Keimschläuchen gemessen. Jedes Versuchsglied bestand aus 3 Wiederholungen.

2.6.3.2. Zoosporenkeimtest mit Phytophthora

Diese Untersuchung unterscheidet sich von dem eben besprochenen Konidienkeimtest dadurch, daß das Zoosporenmaterial nicht unmittelbar von einem festen Nährsubstrat gewonnen werden konnte, sondern erst von auskeimenden Sporangien erhalten wurde. Dadurch ergaben sich einige Änderungen, die im Zoosporenkeimtest berücksichtigt werden mußten.

Auch hierbei wurde auf äußerste Sauberkeit der verwendeten Glasgefäße geachtet, denn schon geringste Schwermetallspuren können die Keimungsrate der Zoosporen sehr stark herabdrücken. Aus diesem Grunde wurde auch ausschließlich bidest. Wasser verwendet (vgl. CHITZANIDIS 1960). Die Herstellung der Sporangiensuspension wurde in der bereits im Abschnitt "Anzucht des Infektionsmaterials" beschriebenen Weise durchgeführt. Als Suspensionsmittel diente steriles bidest. Wasser, dem 0,01% Kaliumzitrat und 0,2% Rohrzucker zur Erhöhung und Konstanthaltung der Keimung zugesetzt waren (CHITZANIDIS 1960). Die in einer flachen Schicht in einer Glasschale befindliche Sporangiensuspension (ca. 80000/ml) wurde 3 1/2 bis 4 Stunden lang einer Temperatur von 12°C ausgesetzt, um das Ausschlüpfen der Zoosporen aus den Sporangien zu stimulieren. Eine Trennung der ausgeschlüpfen Zoosporen von den leeren bzw. nur z.T. entleerten Sporangien wurde nicht vorgenommen, da nach dieser Zeit mehr als 90% aller Sporangien aus leeren Hüllen bestand. Aus einem Sporangium schlüpften 9-12 Zoosporen. Nach Einstellung der Zoosporendichte auf ungefähr 80000 pro ml Suspension wurde der Test, wie schon bereits im Konidienkeimtest dargelegt, fortgeführt.

2.7. Rückisolierungen

Um festzustellen, ob die wirksamsten Substanzen tatsächlich die Ausbreitung der beiden Gefäßparasiten (Fusarium und Verticillium) im Xylem der Tomatenstengel einschränkten und inwieweit diese Ausbreitung mit den Index-Werten für

die Gefäßbräunung übereinstimmten, wurden Rückisolierungen durchgeführt.

Die Isolierung der Welkeerreger erfolgte in Anlehnung an eine zuerst von SAALTINK (1963) beschriebene Methode. Zu diesem Zweck wurden die Stengel der Tomatenpflanzen zu verschiedenen Terminen (7,14,21 und 28 Tage) nach der Beimpfung in die einzelnen Internodien geteilt. Nach der Feststellung des Gewichts eines jeden Stengelabschnittes wurden jeweils 3 aufeinanderfolgende Internodien gemeinsam 1 1/2 bis 2 Minuten lang in 96%igen Alkohol getaucht, um die an der Oberfläche der Internodien haftenden Bakterien und Pilze abzutöten. Anschließend wurden die 3 Stengelteile mit einem Homogenisator (Ultra-Turrax) in 250 ml Leitungswasser (6 mal je 1 sek. bei 240 Umdreh./sec.) unter Kühlung im Eisbad zerkleinert. Von einem Teil dieser Gewebesuspension wurden außerdem noch die Verdünnungsstufen 1:10 und 1:100 hergestellt. Daraufhin wurden jeweils 2,5 ml der 3 verschieden stark verdünnten Suspensionen in sterile Petrischalen pipettiert und mit 15 ml 2%igem Malzagar (40-50°C) gemischt. Zur Unterdrückung eines evtl. Bakterienwachstums waren kurz vorher dem Nährboden bei 60-70°C 0,05% Streptomycin zugesetzt worden. Auf jede Verdünnungsstufe entfielen 3 Wiederholungen. Danach wurden die Platten der Fusarium-Isolierungen im Brutschrank bei 27°C aufgestellt, die Verticillium-Versuche dagegen bei Raumtemperatur (19-21°C). Die Auszählung der Fusarium-Kolonien erfolgte nach 2-tägiger Inkubation, die Auswertung der entsprechenden Verticillium-Versuche konnte erst nach 4 Tagen durchgeführt werden.

2.8. Exsudatgewinnung, Aufarbeitung und Untersuchung auf Aminosäuren

Die Stengel der Tomatenpflanzen wurden am späten Nachmittag über den Primärblättern mit einem scharfen, abgeflamten Messer abgeschnitten, nachdem sie an den Schnittstellen mit 96%igem Alkohol gründlich gereinigt worden waren. Über den Stengelstumpf wurde ein 4-5 cm langes, durch Kochen sterilisiertes Stück Gummischlauch gestreift, wobei auf einen möglichst festen Abschluß zwischen Schlauchstück und Stengelteil geachtet werden mußte. Auf das Schlauchstück wurde ein

steriles Glasröhrchen, dessen oberes Ende mit einem Wattestopfen verschlossen war, gesetzt. In Abständen von 4 bis 6 Stunden erfolgte jeweils die Entnahme der Blutungssäfte mit sterilen Pipetten. Bis zur weiteren Aufarbeitung wurden dann die Exsudate in einer Tiefgefriertruhe aufbewahrt. Die Abtrennung der Aminosäuren-Fraktion von den Blutungssäften wurde mit Hilfe von Kationenaustauscher-Säulen (Dowex 50x4, 100-200 mesh) nach Vorschrift durchgeführt (vgl. hierzu HEILENZ et al. 1966). Die Aminosäuren wurden quantitativ im Beckman Aminosäurenanalysator (Modell 120B⁺) bestimmt.

2.9. Polyphenoloxydase- und Peroxydase-Bestimmung

3 g Stengel- oder Blattmaterial wurden in 25 ml McIlvaine-Puffer (pH 7,0) und dem gleichen Volumen dest. Wasser unter Kühlung im Eisbad homogenisiert (Ultra-Turrax 10 mal 6 sec. bei 240 Umdreh./sec.), durch Faltenfilter filtriert und anschließend unter Kühlung zentrifugiert. Zur Bestimmung der Polyphenoloxydase-Aktivität wurden 0,1 ml Tomatenextrakt mit 3 ml einer 0,5%igen Brenzkatechin- oder Pyrogallol-Lösung in eine Küvette zusammengegeben. Bei einer für das jeweilige Phenol charakteristischen Wellenlänge wurde dann 3 min. lang alle 15 sec. die Änderung der Extinktion im Spektralphotometer abgelesen (Pyrogallol 420 m μ , Brenzkatechin 415 m μ). Die Messung der Peroxydase-Aktivität erfolgte mit Hydrochinon bei 460 m μ und mit Guajacol bei 470 m μ unter Zusatz von 0,1 ml 1%igem H₂O₂.

2.10. Herkunft der verwendeten Wirkstoffe und Therapeutika

Die verwendeten Substanzen wurden vorwiegend aus dem Handel bezogen, wobei die Reinheitsgrade nur zum Teil angegeben waren. Die entsprechenden Angaben finden sich bei den einzelnen Stoffklassen im Ergebnisteil. Lediglich die Substanz 9-Thiofluorenol (TF) wurde nach der Herstellungsvorschrift von SCHÖNBERG (1955), Diazofluoren (DF) nach der Methode von BISTERT et al. (1968) selbst synthetisiert.

2.11. Statistische Auswertung der Ergebnisse

Der größte Teil der varianzanalytischen Auswertungen wurde auf der Rechenanlage der Abt. für Biometrie an der Landw.

Fakultät der Universität Gießen durchgeführt.¹⁾ Die Verrechnung der in vivo-Versuche erfolgte nach der Blockanlage. Für die Höhe der Sicherungen der Differenzen zu den jeweiligen Kontrollen wurden folgende Symbole verwendet:

- = stat. nicht gesichert ($p > 5\%$)
- + = stat. gesichert ($p < 5\%$)
- ++ = stat. gut gesichert ($p < 1\%$)
- +++ = stat. sehr gut gesichert ($p < 0,1\%$)

3. ERGEBNISSE

3.1. Versuche mit Wuchshemmstoffen (CCC, CMH, Amo-1618, Phosfon-D, B-995)

3.1.1. Einführung

In mehreren Veröffentlichungen wurde bereits über den Einfluß dieser Wuchshemmstoffe auf Veränderungen der Krankheitsbereitschaft verschiedener Pflanzen gegen tierische Schädlinge sowie Bakterien-, Pilz- und Viruskrankheiten berichtet. So erfahren nach MARTH und FRANK (1961) die Sojapflanzen nach Applikation von Amo-1618 stoffwechselphysiologische und morphologische Veränderungen in der Weise, daß die Vermehrung von Milben auf behandelten Pflanzen wesentlich geringer ist als auf unbehandelten. SMITH und KORKE (1966) konnten feststellen, daß der Befall schwarzer Johannisbeersträucher mit der Gallmilbe Cicidophyopsis ribis durch CCC-Behandlung stark herabgesetzt werden kann.

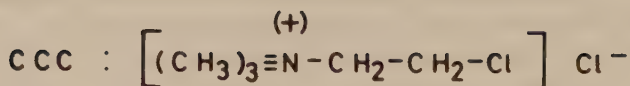
In Untersuchungen über die Wirkung der Wachstumsregulatoren auf die Virusvermehrung in Pflanzen wurden unterschiedliche Ergebnisse erzielt. Nach TAHORI et al. (1965) verminderte keiner der getesteten Hemmstoffe (CCC, Phosfon-D und B-995) die Zahl der durch TMV auf Tabakpflanzen hervorgerufenen Lokalläsionen. Dagegen konnte RAWLINS (1962) an Tabak feststellen, daß CCC chemotherapeutische Eigenschaften gegenüber TMV aufweist. Direkte bakterizide Wirkung besitzt Amo-1618 gegen Bacillus subtilis, dessen

1) Hierfür sei Herrn Dr. G. Müller bestens gedankt.

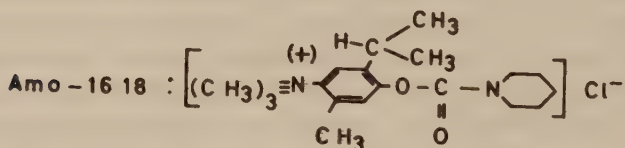
Wachstum auf künstlichem Nährmedium gehemmt wird (DUNLEAVY und KUNKEL 1968).

Zahlreiche Befunde über den Einfluß der genannten Wirkstoffe auf pilzliche Krankheitserreger an Pflanzen sind bisher bekannt geworden. Daß bei hohen Niederschlägen die Anfälligkeit des Weizens gegenüber Ährenkrankheiten, wie Sep-toria, Fusarium, Alternaria und Gladospodium, durch CCC-Behandlung gesteigert, andererseits die Auswirkung des Cercospora-Befalls vermindert wird, ist wohl hinreichend bekannt (STURM und JUNG 1964, BOCKMANN 1968, LANGERFELD 1969). TANORI et al. (1965) stellten an mit verschiedenen Wuchshemmstoffen behandelten Bohnenkeimlingen einen Rückgang des Befalls durch Sclerotium rolfsii fest. Sie konnten ferner eine Verminderung des Befalls mit Puccinia graminis an Bohnenkeimlingen nach Wurzelanwendung von B-995 beobachten. Bei Blattanwendung verzögerten sowohl B-995, CCC als auch Phosfon-D das Auftreten des Rostes. CCC reduzierte den Botrytis-Befall an Schwarzen Johannisbeeren und auch den Stachelbeermehltau (SMITH und KORKE 1966). Nach SINHA und WOOD (1964) vermindert CCC die durch Verticillium albo-atrum an Tomaten hervorgerufenen Welkeerscheinungen erheblich. CCC und B-995 erhöhen auf Grund einer Förderung der IES-Oxydation die Resistenz von Gurkenkeimlingen gegenüber Gladospodium cucumerinum (van ANDEL 1966, 1968).

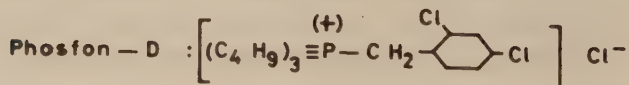
Die oben genannten verschiedenen Wuchshemmstoffe stellen chemisch eine heterogene Gruppe dar, obwohl zwischen einigen von ihnen strukturelle Ähnlichkeiten bestehen, so z.B. zwischen C-011 und B-995 sowie zwischen CCC, Amo-1618 und Phosfon-D. Die letzteren gehören zu den quaternären Ammonium- bzw. Phosphonium-Verbindungen. Jeweils 3 der 4 Radikale sind gleich, nämlich Methylgruppen bei CCC und Amo-1618 oder Butylreste bei Phosfon-D. Verbindungen vom Typ des CCC sind dann am wirksamsten als pilanzliche Wuchshemmstoffe, wenn die Kohlenstoffkette aus 2 C-Atomen besteht.



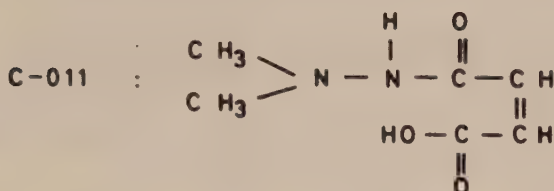
Substituiert man an Stelle einer Methylgruppe am Trimethylammonium-Kation einen Aminorest, so entsteht N-Dimethyl-N-(β-chloräthyl)-hydrazoniumchlorid (CMH), eine Substanz mit ähnlich stark retardierender Wirkung wie CCC (JUNG 1967, KÖNIG 1968). Für die Wirksamkeit von Amo-1618 muß sowohl die quaternäre Ammoniumgruppe als auch die Carbamatgruppe anwesend sein.



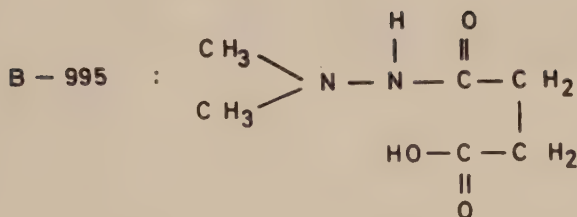
Das aktive Zentrum des Phosfons befindet sich offenbar in dem Tributylphosphonium-Kation.



Bei B-995 und C-011 handelt es sich um die N-Dimethylmonoamide der Maleinsäure



und der Bernsteinsäure



Amo-1618 und CCC hemmen die Gibberellinsynthese bei Fusarium moniliforme (KENDE et al. 1963, NINNEMANN et al. 1964).

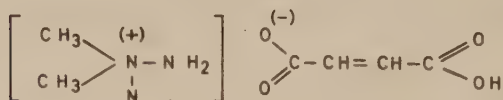
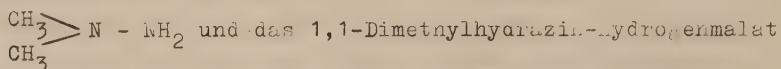
Die Hormongruppe der Gibberelline hat man aus Pflanzenteilen und auch aus Samen isolieren können. Sie soll verantwortlich sein für die α -Amylase-Synthese im keimenden Samen. Wenn also die Wuchshemmstoffe die Biosynthese des Gibberellins oder gibberellinähnlicher Verbindungen hemmen, müßte auch die α -Amylase-Synthese während der Keimung durch diese Substanzen vermindert werden. Tatsächlich hemmen CCC und

Herkunft der in den Untersuchungen verwendeten Wuchshemmstoffe:

CCC (Reinheitsgrad 98%): BASF, Ludwigshafen /Rhein
 CMH: (Reinheitsgrad 45%): BASF, Ludwigshafen /Rhein
 Amo-1618: Rainbow Color & Chemical Company, Sepulveda, Calif. USA
 Phosfon-D (Reinheitsgrad 10%): (Mobil Chemical Company) Res. Dept.
 Industrial Chemicals Division, Ashland, Virg. (USA)
 C-011: } Tech. United States Rubber Company Naugatuck,
 B-995: } Chemical Division, Naugatuck, Conn. (USA)

Amo-1618 sowie Phosfon-D die α -Amylase-Synthese im keimenden Samen. Dieser Effekt kann durch zusätzliche Gibberellinsäure-Behandlung wieder aufgehoben werden (KHAN und FAUST 1967).

Die beiden anderen Hemmstoffe greifen wahrscheinlich in andere Mechanismen des pflanzlichen Stoffwechsels ein. DAHLGREN und SIMMERSON (1963) nehmen an, daß C-011 bereits in wässriger Lösung eine intramolekulare Umsetzung erfährt. Es entsteht aus der N-Dimethylaminomaleinsäure das 1,1-Dimethylhydrazin



Diese intramolekulare Reaktion unter Abspaltung von 1,1-Dimethylhydrazin kann auch bei B-995 beobachtet werden (REED 1965a). Die Verbindung ist sowohl bei Tieren (ZELLER 1941) als auch bei Pflanzen (REED 1965b) ein Inhibitor der Diaminoxidase. Dieses Enzym oxydiert unter anderem Tryptamin zu Indolazetaldehyd. Die durch B-995 und C-011 an Erbsen hervorgerufene Sproßverkürzung steht in engem Zusammenhang mit der Hemmung der Tryptamin-Oxydation zu Indolazetaldehyd. Daraus läßt sich folgern, daß B-995 und C-011 durch intramolekulare Umlagerung das 1,1-Dimethylhydrazin abspalten, wonach durch Inaktivierung der Diaminoxidase die katalytische Oxydation des Tryptamin zum Indolazetaldehyd blockiert und somit möglicherweise die Auxinkonzentration herabgesetzt wird.

3.1.2. Ergebnisse der Versuche in vivo

3.1.2.1. Fusarium

Tabelle 1: Einfluß von CCC (postinfektionelle Wurzelanwendung) in verschiedenen Konzentrationen und Applikationsterminen auf die durch Fusarium an Tomaten hervorgerufenen Welkeerscheinungen und Gefäßbräunungen.

Bis zum 6. Tag nach der Infektion behandelt.

Wirkstoff	Konz. (M)	Welkeerscheinungen		Gefäßbräunungen		
		14 Tg.p.I. Index	20 Tg.p.I. Index Stat. Sich.	20 Tg. p.I. Index Stat. Sich.		
<u>Infiziert:</u>						
Unbehandelt	-	47,7	87,8	96,9		
CCC j.2.Tg. 10^{-3}		20,1	51,5 ++	83,4	-	
CCC tgl. 10^{-4}		28,4	70,1 -	92,1	-	
CCC j.2.Tg. 10^{-4}		22,6	66,4 +	85,0	-	
CCC tgl. 10^{-5}		39,2	77,3 -	93,7	-	
<u>Nicht infiziert:</u>						
Unbehandelt	-	0	0	0		
CCC j.2.Tg. 10^{-3}		6,7	5,3	0		
CCC tgl. 10^{-4}		0,2	0,1	0		
CCC j.2.Tg. 10^{-4}		0,1	0	0		
CCC tgl. 10^{-5}		0	0	0		

In Tab. 1 sind die Ergebnisse eines Versuches wiedergegeben, in welchem Chlorcholinchlorid in unterschiedlichen Konzentrationen zu verschiedenen Terminen nach Infektion der Tomatenpflanzen mit dem Welkeerreger Fusarium oxysporum angewendet wurde. Der Wirkstoff reduziert die Welkeerscheinungen an den Pflanzen bei 3-maliger Wurzelbehandlung in 10^{-3} molarer Konzentration signifikant; allerdings traten auf Grund der hohen Wirkstoffdosierungen in diesem Versuchsglied an den Blatträndern leichte phytotoxische Schäden auf. In den schwächeren Konzentrationsstufen nahm die welkemindernde Wirkung jedoch erheblich ab. Durch eine 6-malige tägliche CCC-Behandlung konnte kein besseres Resultat erzielt werden als durch nur drei 10^{-4} molare CCC-Applikationen.

Hinsichtlich des Einflusses von CCC auf die Gefäßbräunung ergeben sich kaum Unterschiede zu den unbehandelten infizierten Kontrollpflanzen. Lediglich die mit $10^{-3}M$ und $10^{-4}M$ CCC behandelten Pflanzen zeigten eine gewisse, wenn auch nur äußerst geringe Reduktion in der Bräunung des Xylems, dagegen war eine Applikation mit $10^{-5}M$ CCC ohne Wirkung.

Ferner sollte die Frage untersucht werden, inwieweit CCC bei ausschließlich präinfektioneller Wurzelanwendung (Tab. 2a) bzw. Blattbehandlung (Tab. 2b) eine prophylaktische Wirkung gegenüber dem Welkeerreger Fusarium an Tomatenpflanzen besitzt.

Tabelle 2a: Einfluß verschiedener CCC-Konzentrationen auf die durch Fusarium an Tomaten verursachten Krankheitssymptome bei präinfektioneller Wurzelbehandlung.

Behandlung: 6, 4 und 2 Tage vor der Infektion

Wirkstoff	Konz. (M)	Welkeerscheinungen		Gefäßbräunungen	
		12 Tg.p.I.	19 Tg.p.I.	19 Tg. p.I.	
		Index	Index Stat. Sich.	Index Stat. Sich.	
<u>Infiziert:</u>					
Unbehandelt	-	12,1	69,8	87,9	
CCC	10^{-3}	10,6	45,3 +	88,7	-
CCC	5×10^{-4}	7,8	43,5 +	88,1	-
CCC	10^{-4}	3,1	58,1 -	84,0	-
CCC	10^{-5}	11,6	69,4 -	78,8	-
<u>Nicht infiziert:</u>					
Unbehandelt	-	0,3	0,3	0	
CCC	10^{-3}	4,9	3,8	0	
CCC	5×10^{-4}	0,8	0,7	0	
CCC	10^{-4}	0	0,3	2,5	
CCC	10^{-5}	0	0	0	

Wie aus Tab. 2a hervorgeht, vermochten vor allem die stärksten Dosierungen die Welkeerscheinungen zu reduzieren. Eine 10^{-5} molare CCC-Lösung erwies sich auch in diesem Falle als unwirksam. Behandlungen vor Infektion der Pflanzen mit $10^{-3}M$ CCC führten zu geringfügigen phytotoxischen Schäden

an den Fiederblättchen, welche sich zunächst noch bis zum 12. Tage nach der Beimpfung bemerkbar machten, dann aber mit zunehmender Versuchsdauer durch ständigen Zuwachs an neuem Blattmaterial bedeutungslos wurden. Die beiden höheren Konzentrationen senkten den Befall signifikant. Demgegenüber konnten nur äußerst geringe Effekte von CCC auf eine Verminderung der Xylemverfärbung in den Stengeln festgestellt werden, wie aus den entsprechenden Bonitierungswerten für die Gefäßbräunung ersichtlich ist. Da in der gleichen Versuchsanstellung verschiedene CCC-Konzentrationen über die Blätter der Tomatenpflanzen appliziert wurden, war die Möglichkeit zu einem Wirkungsvergleich zwischen beiden Applikationsmethoden gegeben. Die hohen Wirkstoff-Dosierungen

Tabelle 2b: Wirkung verschiedener CCC-Konzentrationen auf die durch Fusarium an Tomaten verursachten Welkeerscheinungen und Gefäßbräunungen bei präinfektioneller Blattapplikation.

Behandlung: 6, 4 und 2 Tage vor der Infektion

Wirkstoff	Konz. (M)	Welkeerscheinungen			Gefäßbräunungen	
		12 Tg.p.I. Index	19 Tg.p.I. Index Stat- Sich.		19 Tg. p.I. Index Stat. Sich.	
<u>Infiziert:</u>						
Unbehandelt	-	12,1	69,8	-	87,9	
CCC	10^{-3}	7,6	70,3	-	79,9	-
CCC	5×10^{-4}	8,5	65,5	-	78,3	-
CCC	10^{-4}	7,9	50,1	-	77,8	-
<u>Nicht infiziert:</u>						
Unbehandelt	-	0	0,3		0	
CCC	10^{-3}	3,3	2,7		0	
CCC	5×10^{-4}	1,2	0,6		0	
CCC	10^{-4}	0,2	0		0	

erwiesen sich im Spritzverfahren ohne Wirkung auf den Krankheitsverlauf der Fusarium-Welke, andererseits reagierten die Pflanzen mit geringen Nekroseerscheinungen an den Blatträndern. Auch die Welkeminderung durch eine 10^{-4} molare CCC-Lösung ist statistisch nicht gesichert.

Es erhob sich nun die Frage, ob durch Wurzelapplikationen sowohl vor als auch nach der Infektion der befallssenkende Einfluß des CCC gegenüber ausschließlich prä- oder postinfektioneller Anwendung gesteigert werden kann. Daher wurde eine der Tab. 1 entsprechende Versuchsanordnung gewählt, die zusätzlich durch eine präinfektionelle Behandlung ergänzt wurde. Damit die Ergebnisse dieser Versuche (Tab. 3) mit der früheren Versuchsanstellung (Tab. 1) unmittelbar verglichen werden können, wurden entsprechende Versuchsreihen dargestellt.

Tabelle 3: Einfluß verschiedener Konzentrationen und unterschiedlicher Anwendungszeiten von CCC bei Wurzelanwendung auf die durch Fusarium an Tomaten hervorgerufenen Welkesymptome und Gefäßbräunungen.

Behandlung: vom 4. Tag vor bis zum 6. Tag nach der Infektion

Wirkstoff	Konz. (M)	Welkeerscheinungen		Gefäßbräunungen	
		15 Tg.p.I. Index	21 Tg.p.I. Index Stat. Sich.	21 Tg. p.I. Index Stat. Sich.	
<u>Infiziert:</u>					
Unbehandelt	-	55,4	80,2	92,2	-
CCC j.2.Tg.10 ⁻³		16,1	37,6 ++	80,4	-
CCC tgl. 10 ⁻⁴		24,5	53,9 +	86,1	-
CCC j.2.Tg.10 ⁻⁴		32,0	66,8 -	83,9	-
CCC tgl. 10 ⁻⁵		43,7	75,1 -	88,7	-
<u>Nicht infiziert:</u>					
Unbehandelt	-	0	0	0,8	
CCC j.2.Tg.10 ⁻³		5,6	3,8	0	
CCC tgl. 10 ⁻⁴		0,7	0,3	0	
CCC j.2.Tg.10 ⁻⁴		0,4	0,5	0	
CCC tgl. 10 ⁻⁵		0,6	0,2	0	

Durch Anwendung der höheren Wirkstoff-Dosierungen (10⁻³M) und 10⁻⁴M) konnten die Welkeerscheinungen gesichert reduziert werden. Weiterhin konnte bei Pflanzen, welche mit 10⁻³M CCC jeden 4. Tag innerhalb der Anwendungszeitspanne

behandelt worden waren, eine annähernd gleiche Verminderung der Welkesymptome beobachtet werden, wie bei täglich mit 10^{-4} M CCC behandelten Pflanzen. Jedoch hatte auch bei Behandlung vor und nach der Infektion die Gefäßbräunung im Xylem höhere Indizes als die Welkeerscheinungen an den Blattstücken. Auf Grund der Ergebnisse, die mit dem Wuchshemmstoff CCC gegen den Erreger der Fusarium-Welke an Tomaten gewonnen wurden, läßt sich folgende Schlußfolgerung ziehen:

Blattbehandlung ist im allgemeinen weniger wirksam als Wurzelapplikation. Prä- und postinfektionelle Wurzelanwendung verminderte das Krankheitsbild am stärksten. Behandlung nach Inokulation vermochte die Welke mehr einzuschränken als ausschließlich präinfektionelle Applikation.

Die dem CCC chemisch nah verwandte und pflanzenphysiologisch wahrscheinlich ähnlich wirkende Verbindung N-Dimethyl-N-(β -chloräthyl)hydrazoniumchlorid (CMH) (KÖNIG 1968) wurde ebenfalls auf ihren Einfluß auf die Krankheitsbereitschaft von Tomatenpflanzen gegenüber der durch Fusarium verursachten Welkekrankheit untersucht.

Tabelle 4: Einfluß verschiedener Konzentrationen von CMH bei postinfektioneller Wurzelapplikation auf die durch Fusarium an Tomaten verursachten Welkeerscheinungen und Gefäßbräunungen.

Behandlung: 2, 6 und 10 Tage nach der Infektion

Wirkstoff	Konz. (M)	Welkeerscheinungen		Gefäßbräunungen	
		15 Tg.p.I. Index	21 Tg.p.I. Index Stat. Sich.	21 Tg. p.I. Index Stat. Sich.	
<u>Infiziert:</u>					
Unbehandelt	-	33,7	79,8		91,6
CMH	10 ⁻³	31,3	74,0 -		92,0 -
CMH	10 ⁻⁴	19,6	49,8 +		74,7 -
CMH	10 ⁻⁵	24,7	68,5 -		77,9 -
<u>Nicht infiziert:</u>					
Unbehandelt		0	0		0
CMH	10 ⁻³	10,9	8,5		0
CMH	10 ⁻⁴	0,7	0,7		0
CMH	10 ⁻⁵	0	0		0

Wie aus Tab. 4 entnommen werden kann, hemmt eine 10^{-4} molare Wirkstoff-Lösung den Krankheitsverlauf signifikant. Wird hingegen den Tomaten eine höhere Konzentration über die Wurzeln zugeführt (10^{-3}M), so reagieren die Pflanzen mit starken nekrotischen Blattschädigungen und ihre Anfälligkeit gegenüber dem Welkeerregere wird nicht beeinflusst. Bei gleicher Konzentration (10^{-3}M) ruft CMH stärkere Schäden an den Pflanzen hervor als CCC. Offenbar wird durch CMH-Dosierungen, die phytotoxische Schäden hervorrufen, die Widerstandsfähigkeit der Pflanzen nicht mehr gesteigert als durch Behandlung mit wesentlich niedrigeren Aufwandmengen (10^{-5}M). Gleichzeitig durchgeführte Blattbehandlungen mit gleichen Wirkstoffabstufungen milderten den Krankheitsverlauf nicht.

Die Substanz Amo-1618 hatte keinen maßgeblichen Einfluß auf die Symptomausprägung. Dabei erwies sich präinfektionelle Wurzelanwendung ebenso unwirksam wie postinfektionelle.

Tabelle 5: Wirkung unterschiedlicher Konzentrationen von Amo-1618 bei Behandlung vor und nach der Infektion auf die durch Fusarium hervorgerufene Welkesymptome und Gefäßbräunungen.

Wurzelapplikationen: 6, 4 und 2 Tage vor sowie 2, 4 und 6 Tage nach der Infektion

Wirkstoff	Konz. (M)	Welkeerscheinungen		Gefäßbräunungen	
		14 Tg.p.I. Index	19 Tg.p.I. Index Stat. Sich.	19 Tg. p.I. Index Stat. Sich.	

Infiziert:

Unbehandelt	-	43,1	74,3		93,7
Amo-1618	10^{-4}	28,6	49,8	+	87,5 -
Amo-1618	5×10^{-5}	30,4	65,2	-	93,9 -

Nicht infiziert:

Unbehandelt	-	0,4	0		0
Amo-1618	10^{-4}	0	0		0
Amo-1618	5×10^{-5}	0	0		0

Immerhin führte eine Kombination beider Anwendungsformen, nämlich Vor- und Nachbehandlung mit 10^{-4}M , zu einem gesicherten Befallsunterschied, während demgegenüber die Xylem-

bräunung keine Reduzierung erfuhr (Tab. 5). Über das Blatt angewendet, zeigte auch Amo-1618 keine Wirkung gegen den Welkeerreger.

Um den krankheitsbeeinflussenden Effekt von Phosfon-D zu prüfen, wurde eine postinfektionelle Applikationsmethode ausgewählt. Wie aus Tab. 6 hervorgeht, verursacht eine 10^{-3} molare Wirkstoff-Lösung kaum nennenswerte Welkeminderungen, jedoch sind deutliche phytotoxische Schäden an den Blättern der Versuchspflanzen erkennbar. Die schwächeren Konzentrationen waren schon zu niedrig, um noch auf das Krankheitsgeschehen einzuwirken. Auch die Welkeminderung durch eine 10^{-4} molare Phosfon-D-Lösung ist statistisch nicht gesichert.

Tabelle 6: Einfluß von Phosfon-D auf die durch Fusarium an Tomaten verursachten Krankheitssymptome bei postinfektioneller Wurzelapplikation.
Behandlung: 2, 6 und 10 Tage nach der Infektion

Wirkstoff	Konz. (M)	Welkeerscheinungen		Gefäßbräunungen	
		15 Tg.p.I. Index	21 Tg.p.I. Index Stat. Sich.	21 Tg. p.I. Index Stat. Sich.	
<u>Infiziert:</u>					
Unbehandelt	-	33,7	79,8	91,6	-
Phosfon-D	10 ⁻³	28,4	74,8 -	79,5	-
Phosfon-D	10 ⁻⁴	18,4	64,7 -	85,1	-
Phosfon-D	10 ⁻⁵	23,0	77,1 -	82,6	-
<u>Nicht infiziert:</u>					
Unbehandelt	-	0	0	0	
Phosfon-D	10 ⁻³	9,7	9,0	0	
Phosfon-D	10 ⁻⁴	0,7	1,8	2,6	
Phosfon-D	10 ⁻⁵	0	0,3	0	

Erwartungsgemäß war daher die Gefäßbräunung durch Phosfon-D auch nur schwach herabgesetzt. Wird der Wirkstoff im Spritzverfahren in den Konzentrationen 10^{-4} M und 10^{-5} M auf die bereits infizierten Tomatenpflanzen appliziert, so ergeben sich weder hemmende noch fördernde Einflüsse auf den Krankheitsablauf der Fusarium-Welke.

Tab. 7 zeigt die Ergebnisse eines Versuchs, in dem die Verbindung B-995 in verschiedenen Dosierungen im Gießverfahren vor und nach der Infektion den Tomatenwurzeln zugeführt wurde. Wie aus den Indizes für die Welkeerscheinungen entnommen werden kann, werden zwar mit zunehmender Aufwandsmenge die Krankheitssymptome gesenkt, jedoch sind die Unterschiede zur unbehandelten Kontrolle zu gering, als daß man B-995 einen gesicherten welkemindernden Effekt zuschreiben könnte. Blattapplikation von B-995 verstärkte in einigen Fällen sogar die Symptomausprägung.

Tabelle 7: Einfluß verschiedener Konzentrationen von B-995 bei prä- und postinfektioneller Wurzelapplikation auf die durch Fusarium verursachten Welkeerscheinungen und Gefäßbräunungen an Tomaten.

Behandlung: 4 und 2 Tage vor sowie 2, 4 und 6 Tage nach der Infektion

Wirkstoff	Konz. (M)	Welkeerscheinungen		Gefäßbräunungen	
		15 Tg.p.I. Index	21 Tg.p.I. Index Stat. Sich.	21 Tg. p.I. Index Stat. Sich.	
<u>Infiziert:</u>					
Unbehandelt	-	30,5	82,9	95,5	
B-995	10 ⁻³	23,1	65,3 -	83,1	-
B-995	10 ⁻⁴	24,6	69,9 -	75,8	-
B-995	10 ⁻⁵	26,7	72,2 -	86,3	-
<u>Nicht infiziert:</u>					
Unbehandelt	-	0	0	0	
B-995	10 ⁻³	0	0	0	
B-995	10 ⁻⁴	0	0	0	
B-995	10 ⁻⁵	0	0	0	

Über die Wirkung von C-011 sollte ein Versuch mit postinfektioneller Behandlung Auskunft geben. Die mit Fusarium infizierten Tomatenpflanzen wurden am 2. und 6. Tag nach Inokulation mit C-011 teils über die Blätter, teils über die Wurzeln behandelt. Im letzteren Fall ergaben sich nach 19 Tagen für die jeweiligen Versuchsglieder folgende Befallswerte für die Blattsymptome: Kontrolle = 80,2; $10^{-3}M = 73,0$; $10^{-4}M = 77,1$ und $10^{-5}M = 73,2$. Die entspre-

chenden Werte für die Gefäßbräunungen lagen z.T. höher als die der unbehandelten Kontrollreihe. Hinsichtlich der Blattbehandlung ergab sich kein Einfluß von C-011 auf die Fusarium-Welke: Kontrolle = 80,2, 10^{-3}M = 80,9 und 10^{-4}M = 80,2. Wie aus den Ergebnissen hervorgeht, übte C-011 keinen Einfluß auf die Fusarium-Welke aus.

3.1.2.2. Verticillium

Den Tomatenpflanzen wurden 4 Tage vor der Beimpfung mit dem Welkeerreger Verticillium alboatrum verschiedene CCC-Konzentrationen über die Wurzeln appliziert (Tab. 8).

Tabelle 8: Einfluß verschiedener CCC-Konzentrationen bei präinfektioneller Wurzelanwendung auf die durch Verticillium alboatrum an Tomaten verursachten Welkeerscheinungen und Gefäßbräunungen.

Behandlung: 4 Tage vor der Infektion

Wirkstoff	Konz. (M)	Welkeerscheinungen		Gefäßbräunungen	
		21 Tg.p.I. Index	28 Tg.p.I. Index Stat. Sich.	28 Tg. p.I. Index Stat. Sich.	
<u>Infiziert:</u>					
Unbehandelt	-	44,7	57,2	77,4	
CCC	10^{-3}	20,0	38,5 +	68,3	-
CCC	5×10^{-4}	25,9	43,3 -	73,0	-
CCC	10^{-4}	36,4	47,2 -	77,9	-
<u>Nicht infiziert:</u>					
Unbehandelt	-	0	0	0	
CCC	10^{-3}	5,1	3,6	0	
CCC	5×10^{-4}	1,2	1,5	0	
CCC	10^{-4}	0	0	0	

Die höheren Dosierungen hemmten zunächst den Krankheitsverlauf, doch glichen sich die Unterschiede mit zunehmender Versuchsdauer allmählich wieder aus. Auffallend ist, daß die Indizes für die Gefäßbräunung in den Stengeln auch bei diesem Gefäßparasiten weit weniger reduziert werden als die Befallswerte für die Blattsymptome. Eine einmalige präinfektionelle CCC-Blattapplikation (10^{-4}M) zeigte dem-

gegenüber kaum hemmende Einwirkungen auf den Befall. Mehrmalige Vorbehandlung mit CCC sowohl über die Wurzeln als auch über die Blätter verstärkte die befallsmindernde Wirkung im Vergleich zu einer einmaligen präinfektionellen Anwendung. Die Welkeerscheinungen wiesen folgende Indizes bei Wurzelapplikation auf: Kontrolle = 47,0; 10^{-4}M = 21,6⁺⁺; die entsprechenden Werte für die Gefäßbräunung waren: Kontrolle = 81,1; 10^{-4}M = 61,1. Blattanwendung führte zu folgenden Verminderungen der Welkesymptome: Kontrolle = 47,0; 10^{-4}M = 32,4⁺; Gefäßbräunung: Kontrolle = 81,1; 10^{-4}M = 70,4.

Die Wirkung von Phosfon-D auf die Krankheitsbereitschaft der Tomatenpflanzen gegenüber der Verticillium Welke wurde ebenfalls in präinfektioneller Wurzel- und Blattapplikation geprüft.

Tabelle 9: Einfluß verschiedener Konzentrationen von Phosfon-D auf die durch Verticillium an Tomaten hervorgerufenen Krankheitssymptome bei präinfektioneller Wurzelapplikation.

Behandlung: 6, 4 und 2 Tage vor der Infektion

Wirkstoff	Konz. (M)	Welkeerscheinungen		Gefäßbräunungen	
		21 Tg.p.I. Index	28 Tg.p.I. Index Stat. Sich.	28 Tg. p.I. Index	p.I. Stat. Sich.
<u>Infiziert:</u>					
Unbehandelt	-	33,1	43,8	69,0	
Phosfon-D	10^{-3}	15,5	23,6 ++	55,6	+
Phosfon-D	5×10^{-4}	13,8	18,3 ++	58,9	-
Phosfon-D	10^{-4}	20,4	29,5 +	62,3	-
Phosfon-D	5×10^{-5}	21,9	37,4 -	66,7	-
<u>Nicht infiziert:</u>					
Unbehandelt	-	1,3	0,7	0	
Phosfon-D	10^{-3}	7,5	6,2	0	
Phosfon-D	5×10^{-4}	5,0	3,2	0	
Phosfon-D	10^{-4}	0	0	0	
Phosfon-D	5×10^{-5}	0	0	0	

Wie Tab. 9 entnommen werden kann, waren insbesondere die höheren Konzentrationsstufen (10^{-3}M , $5 \times 10^{-4}\text{M}$ und 10^{-4}M)

imstande, die Welkesymptome signifikant zu vermindern. Anwendung von $10^{-3}M$ führte allerdings zu Blattrandnekrosen. Im übrigen muß erwähnt werden, daß auch die unbehandelten Kontrollpflanzen am Ende der Versuchsperiode nur schwache Symptome aufwiesen.

Amo-1618 hat nur einen sehr geringen Einfluß auf die durch Verticillium hervorgerufenen Welkeerscheinungen.

Weiterhin wurde ein Versuch mit B-995, vor der Infektion angewendet, durchgeführt. Diese Verbindung besitzt in Konzentrationen von $10^{-3}M$ bzw. $10^{-4}M$ einen gesicherten reduzierenden Einfluß auf die Welkeerscheinungen, während die Gefäßbräunung in den Stengeln kaum verändert wird (Tab. 10).

Tabelle 10: Wirkung unterschiedlich starker B-995 Konzentrationen bei präinfektioneller Wurzelapplikation auf die durch Verticillium an Tomaten hervorgerufenen Krankheitssymptome.

Behandlung: 4 und 2 Tage vor der Infektion

Wirkstoff	Konz. (M)	Welkeerscheinungen			Gefäßbräunungen	
		18 Tg.p.I. Index	28 Tg.p.I. Index	Stat. Sich.	28 Tg. p.I. Index	Stat. Sich.
<u>Infiziert:</u>						
Unbehandelt	-	43,2	66,8		76,8	-
B-995	10^{-3}	19,9	50,0	+	79,3	-
B-995	10^{-4}	14,1	39,5	++	74,7	-
B-995	10^{-5}	29,7	58,5	-	75,2	-
<u>Nicht infiziert:</u>						
Unbehandelt	-	0	0		0	
B-995	10^{-3}	1,3	0		0	
B-995	10^{-4}	0	0,6		0	
B-995	10^{-5}	0	0		0	

3.1.2.3. Phytophthora

Einige der genannten Wuchshemmstoffe wurden noch auf ihre befalls mindernde Wirkung gegenüber der durch Phytophthora infestans an Tomaten hervorgerufenen Blattkrankheit geprüft. Die Präparate wurden sowohl über die Blätter als auch über die Wurzeln der Versuchspflanzen 5, 3 und 1 Tag

vor der Inokulation angewendet. Tab. 11 gibt die Wirkung der getesteten Wuchshemmstoffe auf den Krankheitsbefall wieder. Die Verbindungen CCC sowie Amo-1618 üben keinerlei Einfluß auf die Phytophthora-Anfälligkeit der Tomatenpflanzen aus. Wenigstens eine geringe Verminderung des Phytophthora-Befalls wird nicht nur durch präinfektionelle Phosfon-D-Behandlung über das Blatt, sondern auch über die Wurzeln an Tomatenpflanzen hervorgerufen. B-995 hingegen besitzt lediglich nach Blattbehandlung eine schwache krankheitsreduzierende Wirkung gegen diesen Erreger.

Tabelle 11: Einfluß von Phosfon-D, B-995, Amo-1618 und CCC auf den Befall von Tomatenpflanzen durch Phytophthora infestans.
Behandlung: 5, 3 und 1 Tag vor der Infektion

Wirkstoff	Anwendungsform	Konz. (M)	Blattbefall	
			abs.	rel.
Unbehandelt	-	-	53,9	100
Phosfon-D	Wurzel	10^{-4}	41,2	76,4
Phosfon-D	Blatt	10^{-4}	43,2	80,1
B-995	Wurzel	10^{-4}	56,3	104,4
B-995	Blatt	10^{-4}	41,4	76,7
Unbehandelt	-	-	66,9	100
Amo-1618	Wurzel	10^{-4}	65,6	98,0
Amo-1618	Blatt	10^{-4}	64,3	96,0
CCC	Wurzel	10^{-4}	62,8	93,8
CCC	Blatt	10^{-4}	65,9	98,4

3.1.3. Ergebnisse der Versuche in vitro

3.1.3.1. Fusarium

Es erhob sich die Frage, ob die Hemmung der Symptombildung unmittelbar auf fungistatische Eigenschaften der Wirkstoffe zurückzuführen ist. Daher wurde zunächst der Einfluß der verschiedenen Wuchshemmstoffe auf das Myzelwachstum auf Czapek-Dox-Agar geprüft, wobei die Präparate dem Nährboden in entsprechenden Konzentrationen zugefügt wurden.

Tabelle 12: Einfluß von CCC, CMH, Amo-1618, Phosfon-D und B-995 auf das Myzelwachstum von Fusarium_oxysporum auf Czapek-Dox-Agar.

Inkulationstemperatur: 27°C

Wirkstoff	Konz. (M)	Substanzen erhitzt Myzelzuwachs in mm		Substanzen nicht erhitzt Myzelzuwachs in mm	
		abs.	rel.	abs.	rel.
Unbehandelt	-	29,4	100	29,4	100
CCC	10 ⁻²	31,4	106,5	25,0	85,0
	10 ⁻³	30,0	102,0	27,2	92,3
	10 ⁻⁴	30,0	102,0	28,4	96,4
Unbehandelt	-	29,4	100	29,4	100
CMH	10 ⁻²	22,9	78,2	26,6	90,1
	10 ⁻³	30,0	102,0	30,0	102,0
	10 ⁻⁴	29,8	101,5	34,6	117,8
Unbehandelt	-	30,0	100	24,5	100
Amo-1618	10 ⁻²	22,6	75,4	14,8	60,4
	10 ⁻³	28,9	96,2	23,9	97,5
	10 ⁻⁴	29,0	96,6	24,2	98,7
	10 ⁻⁵	30,9	102,8	24,2	98,7
Unbehandelt	-	30,0	100	24,5	100
Phosfon-D	10 ⁻³	6,3	20,9	5,3	21,6
	10 ⁻⁴	24,7	82,2	19,7	80,4
	10 ⁻⁵	29,7	98,9	23,3	95,1
Unbehandelt	-	30,0	100	24,5	100
B-995	10 ⁻²	14,7	48,9	20,1	81,0
	10 ⁻³	26,9	89,6	24,1	98,3
	10 ⁻⁴	29,3	97,6	23,3	95,1
	10 ⁻⁵	29,3	97,6	25,4	103,6

Wie den Ergebnissen aus Tab. 12 zu entnehmen ist, wird das Wachstum von Fusarium durch die Substanzen CCC, CMH, Amo-1618 und B-995 im Konzentrationsbereich von 10⁻³M bis 10⁻⁴M nicht gehemmt. Lediglich 10⁻²M dieser Verbindungen retardierten die Wachstumsintensität in geringem Maße. Wurden die Präparate zusammen mit dem Agar 20 Min.

lang bei ca. 125°C und 2,5 atü erhitzt, so nahm die fungistatische Wirkung von CCC und Amo-1618 ab, diejenige von B-995 zu. Wahrscheinlich entstanden durch das Erhitzen von B-995 Umwandlungsprodukte, die toxischer waren als die Ausgangssubstanz selbst.

3.1.3.2. Verticillium

Versuche mit Verticillium alboatrum führten zu ähnlichen Resultaten (Tab. 13).

Tabelle 13: Einfluß von CCC, CMH, Phosfon-D und B-995 auf das Myzelwachstum von Verticillium alboatrum auf Czapek-Dox-Agar.

Inkubationstemperatur: 20 ± 1°C

Wirkstoff	Konz. (M)	Substanzen erhitzt		Substanzen nicht erhitzt	
		Myzelzuwachs in mm		Myzelzuwachs in mm	
		abs.	rel.	abs.	rel.
Unbehandelt	-	26,4	100	26,4	100
CCC	10 ⁻²	24,2	91,6	25,2	95,4
	10 ⁻³	25,0	94,6	25,0	94,6
	10 ⁻⁴	26,2	99,2	25,6	96,9
CMH	10 ⁻²	19,2	72,7	18,6	70,4
	10 ⁻³	26,0	98,4	24,8	93,9
	10 ⁻⁴	27,2	102,9	25,6	96,0
Phosfon-D	10 ⁻³	9,2	34,8	8,8	33,3
	10 ⁻⁴	22,6	85,5	21,8	82,5
	10 ⁻⁵	25,8	97,6	25,4	96,1
B-995	10 ⁻²	12,6	47,7	19,0	71,9
	10 ⁻³	20,2	76,5	24,8	93,8
	10 ⁻⁴	26,4	100	27,0	102,2

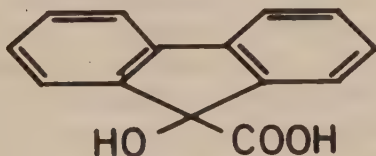
Die Wirkstoffe CCC, CMH, Phosfon-D und B-995 hemmten in den in vitro angewendeten Konzentrationen (10⁻³M bis 10⁻⁴M) das Myzelwachstum von Verticillium kaum. Auch hier beeinflusste B-995 nach Erhitzung die Myzelentwicklung deutlicher.

3.2. Versuche mit Morphaktinen

3.2.1. Einführung

Wie auf Grund der Untersuchungen über den Einfluß von Wuchs-

hemmstoffen auf die beiden Welkekrankheiten und auf die Blattkrankheit an Tomaten festgestellt werden konnte, verursachten diese Substanzen wohl gewisse Befallsminderungen. Im großen und ganzen waren aber die erzielten Effekte so gering, daß auf nähere biochemische Untersuchungen über den Wirkungsmechanismus verzichtet wurde. Vielmehr wurde zusätzlich eine neue Gruppe von synthetischen Wachstumsregulatoren in die Untersuchungen einbezogen und ihr Einfluß auf die drei Pilzkrankheiten an Tomaten geprüft, zumal bisher keine Befunde über ihre Wirkung auf pilzliche Krankheitserreger bekannt geworden sind. Es handelt sich bei diesen Verbindungen um die vor wenigen Jahren entdeckten "Morphaktine" (SCHNEIDER 1964). Diese Wirkstoffe leiten sich chemisch von der 9-Hydroxyfluoren-9-carbonsäure (Diphenylenglykolsäure) ab.



Die strukturelle Ähnlichkeit zwischen Morphaktinen und Gibberellinsäure läßt einen gemeinsamen Wirkungsort vermuten. In der Tat haben ZIEGLER et al. (1966) eine kompetitive Hemmung der Gibberellinsäure festgestellt. Eine solche Hemmung durch Morphaktine kann aber allein auf Grund der strukturellen Ähnlichkeit der beiden Wirkstoffe nicht angenommen werden, da das Gibberellinsäure-Molekül eine fast kugelförmige Gestalt besitzt, während die Morphaktine mehr zweidimensional ausgerichtet sind (MOHR 1969). Es konnte zudem in zahlreichen Versuchen bestätigt werden,

daß die Morphaktine keine spezifischen Gibberellin-Antagonisten darstellen (MANN et al. 1966, SCHOTT und SCHRAU-DOLF 1967). Sie blockieren z.B. nicht die durch Gibberelline stimulierte de novo-Synthese der α -Amylase im Gerstenendosperm (KRELLE und LIBBERT 1967).

Einige Ergebnisse deuten darauf hin, daß die Morphaktine in vieler Hinsicht genauso oder ähnlich wie 2,3,5-Trijodbenzoesäure (TIBA) wirken (SCHNEIDER 1964, KRELLE und LIBBERT 1968a). Der Geotropismus wird z.B. in der gleichen Weise durch Morphaktine gestört, wie es schon von TIBA bekannt war (VAN DER BEEK 1959, KEITT 1960). Die primäre Wirkung von TIBA besteht in der Hemmung des IES-Transportes (HAY 1956). Nach KRELLE und LIBBERT (1968) retardiert auch 2-Chlor-9-hydroxyfluoren-9-carbonsäuremethylester in Weizen- und Haferkoleoptilen sowie in etiolierten Erbsenkeimlingen den IES-Transport. Bekannt ist der Wirkungssynergismus zwischen Phenoxywuchsstoffen und Morphaktinen. Da die Phenoxywuchsstoffe durch Einwirkung auf Zellstreckung und Zellteilung die Zellteilungsaktivität auf weite Bereiche der Pflanze ausdehnen, finden auf diese Weise die Morphaktine eine breite Grundlage für ihre Beeinflussung der Zellteilung (SCHNEIDER und FLEMMING 1965). Nach Untersuchungen von RINGE und VON DENHOFER (1967) an Zwiebelwurzeln vermindern die Morphaktine die Mitosehäufigkeit und heben die strenge Polarität der Teilungsspindel auf.

Für die Untersuchungen standen 4 verschiedene Wirkstoffe zur Verfügung¹⁾:

- IT 3233 = 9-Hydroxyfluorencarbonsäure-9-n-butylester
(100% Wirkstoff)
- IT 3228 = 9-Hydroxyfluorencarbonsäure-9-n-heptylester
(100% Wirkstoff)
- IT 3456 = Mischung aus ca. 80% 2-Chlor-9-hydroxyfluorencarbonsäure-9-methylester
9% 2,7-Dichlor-9-hydroxyfluorencarbonsäure-9-methylester

1) Für die Überlassung dieser Substanzen sei der Firma E. Merck AG., Darmstadt, gedankt.

11% 9-Hydroxyfluorencarbonsäure-9-methylester
IT 3660 = 2-Chlor-9-hydroxyfluorencarbonsäure-9-heptylester
(keine Reinheitsangabe)

Sie unterscheiden sich voneinander durch Chlorsubstitution in 2-Stellung und durch verschieden lange Alkylketten, die mit der Carboxylgruppe in der Position 9 des Fluorenmoleküls verestert sind.

3.2.2. Ergebnisse der in vivo Versuche

3.2.2.1. Fusarium

Abb. 1 zeigt das Ergebnis eines Versuches mit Fusarium_oxysporum_f. lycopersici, in dem die zwei Präparate IT 3233 und IT 3660 (jeweils $10^{-7}M$) postinfektionell appliziert

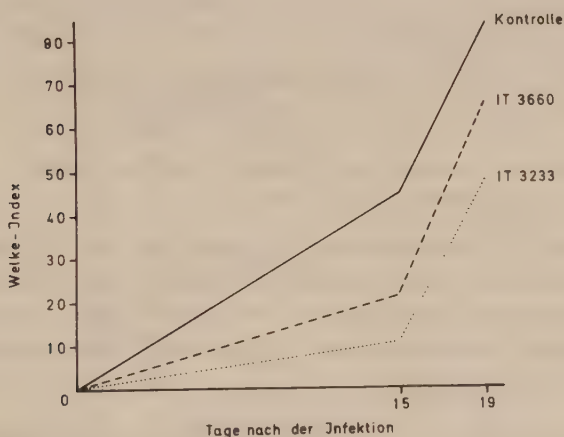


Abbildung 1: Einfluß von Morphaktinen ($10^{-7}M$; Wurzelapplikation) auf die Fusarium-Welke der Tomate bei postinfektioneller Anwendung.
Behandlung: 2, 4, 6 und 8 Tage nach der Infektion

wurden. Die Welkeerscheinungen werden zunächst erheblich vermindert, allerdings klingt die Wirkung mit zunehmender Versuchsdauer ab (vgl. hierzu Abb. 2).

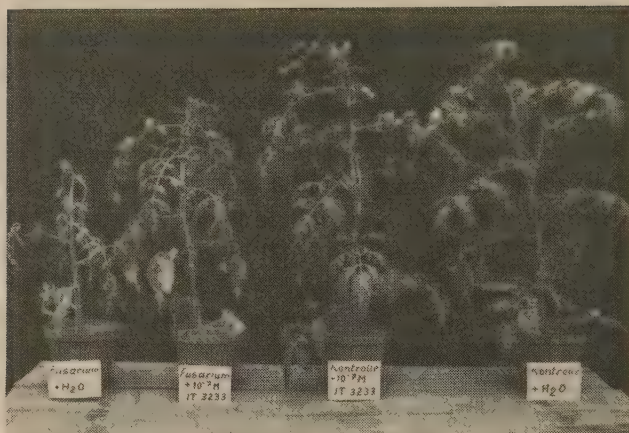


Abbildung 2: Einfluß von IT 3233 ($10^{-7}M$; Wurzelapplikation) auf die Fusarium-Welke an Tomaten, 22 Tage nach der Infektion.

Von links: Infiziert, unbehandelt - Infiziert, mit IT 3233 behandelt - Nichtinfiziert, behandelt - Nichtinfiziert, unbehandelt

Im übrigen werden die Welkeerscheinungen stärker beeinflußt als die Gefäßbräunung (Tab. 14).

Tabelle 14: Einfluß verschiedener Morphaktine auf die durch Fusarium oxysporum f. lycopersici verursachten Welkeerscheinungen und Gefäßbräunungen an Tomaten. Relativwerte; 22 Tage nach der Infektion (Wurzelapplikation).

Wirkstoff	Konz.(M)	Welkesymptome	Gefäßbräunung
Kontrolle	-	100	100
IT 3233	10^{-7}	62	65
IT 3238	10^{-7}	63	82
IT 3456	10^{-8}	44	62
IT 3660	10^{-7}	45	59

In Abhängigkeit von der Wirkstoff-Dosierung ergaben sich sowohl Hemmungen als auch Förderungen des Längenwachstums (vgl. auch KRELLE und LIBBERT 1968b). Bei Blattbehandlung

konnten im allgemeinen höhere Konzentrationen angewendet werden als beim Gießverfahren. Im übrigen lagen die Dosierungen der Wirkstoffe in einem Bereich, in dem die Pflanzen mit morphologischen Veränderungen reagierten, die schon von anderen Autoren (u.a. SCHNEIDER 1964) beschrieben wurden: Reduktion der Blattspreiten und verstärkter Austrieb aus den Blattachseln. Chlorsubstitution in 2-Stellung erhöhte die morphoregulatorische Wirksamkeit für Tomaten (vgl. MOHR et al. 1967).

Um festzustellen, inwieweit die Befallsminderung durch Morphaktine mit einer schwächeren Entwicklung des Pilzes in den Gefäßen verbunden war, wurden zusätzlich Rückisolierungen durchgeführt. Die Zahl der sich entwickelnden Fusarium-Kolonien diente als Anhaltspunkt für die in den Stengeln vorhandene Myzelmenge.

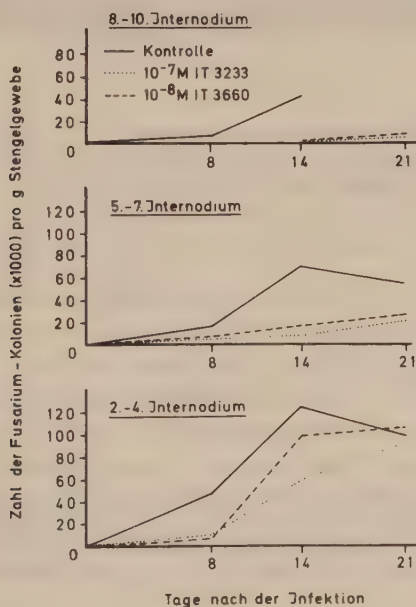


Abbildung 3: Einfluß zweier Morphaktine (postinfektionelle Applikation über die Wurzeln) auf die Entwicklung von *Fusarium oxysporum* f. *lycopersici* in den Stengeln infizierter Tomatenpflanzen.

Aus Abb. 3 geht hervor, daß durch die Morphaktine tatsächlich die Entwicklung des Pilzes in den Gefäßen eingeschränkt wird. In den obersten Internodien der morphaktin-behandelten Pflanzen ist der Erreger 8 Tage nach der Infektion noch nicht nachzuweisen, in den unteren Stengelabschnitten ist die Myzelmenge stark verringert. Später gleichen sich jedoch die Unterschiede zur unbehandelten Kontrolle mehr und mehr aus.

3.2.2.2. Verticillium

Versuche mit Verticillium albo-atrum führten zu ganz ähnlichen Ergebnissen (Abb. 4).

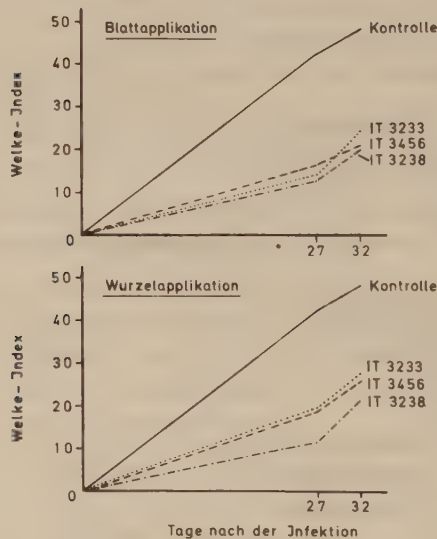


Abbildung 4: Einfluß von drei Morphaktin-Präparaten (jeweils 10^{-4} M) auf die Verticillium-Welke der Tomate bei Blatt- bzw. Wurzelapplikation. Anwendung: kontinuierlich in Abständen von 4 Tagen nach der Inokulation.

Bei vergleichbaren Konzentrationen hat offenbar IT 3238 den stärksten Effekt, jedoch sind die Unterschiede zwischen den einzelnen Wirkstoffen gering. Auch zwischen Blatt- und Wurzelapplikation bestehen keine wesentlichen Differenzen. Der Einfluß der Morphaktine auf die Verticillium-Welke der Tomaten wird auch durch Abb. 5 veranschaulicht.



Abbildung 5: Einfluß einer postinfektionellen Anwendung von IT 3238 (10^{-7} M; Wurzelapplikation) auf die Verticillium-Welke der Tomate, 28 Tage nach der Infektion. Von links: Infiziert, unbehandelt - Infiziert, mit IT 3238 behandelt - Nichtinfiziert, unbehandelt

Wiederum werden die Welkesymptome an den Blättern durch die Morphaktin-Behandlung stärker reduziert als die Gefäßbräunung in den Stengeln. Auch hier läßt die anfänglich starke Wirkung der Morphaktine später nach, so daß eigentlich nur von einer Verzögerung des Krankheitsverlaufes gesprochen werden kann. Ferner wurde festgestellt, daß durch zusätzliche Morphaktin-Gaben vor der Infektion die Wirkung der postinfektionellen Applikation nicht nennenswert gesteigert werden kann.

3.2.2.3. Phytophthora

Schließlich seien die Versuchsergebnisse über den Einfluß von Morphaktinen auf die durch Phytophthora_infestans hervorgerufene Krautfäule der Tomaten wiedergegeben. Wie Abb. 6 erkennen läßt, rufen die beiden Präparate IT 3233 und IT 3456 eine gewisse Befallsminderung hervor.

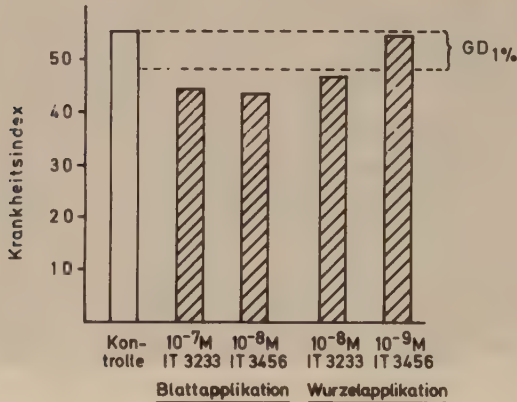


Abbildung 6: Einfluß zweier Morphaktine auf den Befall von Tomatenpflanzen mit Phytophthora_infestans.

Blattapplikation, bei der höhere Konzentrationen angewendet werden konnten, ist wirksamer als Wurzelapplikation. Insgesamt sind die Unterschiede zur Kontrolle zwar gering, jedoch mit einer Ausnahme statistisch gesichert.

3.2.3. Ergebnisse der Versuche in vitro

3.2.3.1. Fungitoxizitätsuntersuchungen

Es wurde weiterhin geprüft, ob die Hemmung des Pilzwachstums in den Stengeln behandelter Pflanzen unmittelbar auf fungistatische Eigenschaften der Morphaktine zurückzuführen ist.

3.2.3.1.1. Fusarium

In Tab. 15 sind die Relativwerte aus den Untersuchungen über den Einfluß der Morphaktine auf die Mikrokonidienkeimung

und auf das Myzelwachstum von Fusarium wiedergegeben.

Tabelle 15: Einfluß von Morphaktinen auf die Sporenkeimung und das Myzelwachstum von Fusarium oxysporum f. lycopersici; Relativwerte.
Inkubationstemperatur: 27°C.

Wirkstoff	Konz. (M)	Anteil ge- keimter Sporen	Keimschlauch- länge	Myzelzuwachs auf Czapek- Dox-Agar
Kontrolle	-	100	100	100
IT 3456	10 ⁻³	90,7	71,8	63,3
	10 ⁻⁴	95,1	97,1	88,5
	10 ⁻⁵	103,2	109,9	96,5
IT 3233	10 ⁻³	89,9	80,9	24,2
	10 ⁻⁴	97,2	84,2	51,0
	10 ⁻⁵	103,1	172,3	86,5
IT 3238	10 ⁻³	96,3	73,3	-
	10 ⁻⁴	99,5	88,6	-
	10 ⁻⁵	89,9	87,6	-
IT 3660	10 ⁻³	32,7	9,7	-
	10 ⁻⁴	80,6	37,8	-
	10 ⁻⁵	94,2	62,5	-

Die Wirkstoffe IT 3456 und IT 3233 zeigten im Plattentest, insbesondere in den niederen Konzentrationen, eine stärkere Wirkung als in der Sporenkeimprüfung. Allein die Verbindung IT 3660 (10⁻³M) verminderte die Sporenkeimung wesentlich, das Wachstum der Keimschläuche sogar noch in der niedrigsten Konzentrationsstufe. Da die Wirkstoffe bei den Untersuchungen mit Tomatenpflanzen nur in Dosierungen von 10⁻⁶ bis 10⁻⁸M angewandt worden waren, ist in vivo nicht mit direkten fungitoxischen Effekten zu rechnen. Diese Ergebnisse stehen in Einklang mit denen von MOHR et al. (1967), wonach sich die Wirkung der Morphaktine auf höhere Pflanzen beschränkt.

3.2.3.1.2. Verticillium

Wie aus Abb. 7 hervorgeht, wird Verticillium alboatrum durch IT 3660 fast gar nicht, durch IT 3233 erst in einer Konzentration von $10^{-3}M$ stärker gehemmt.

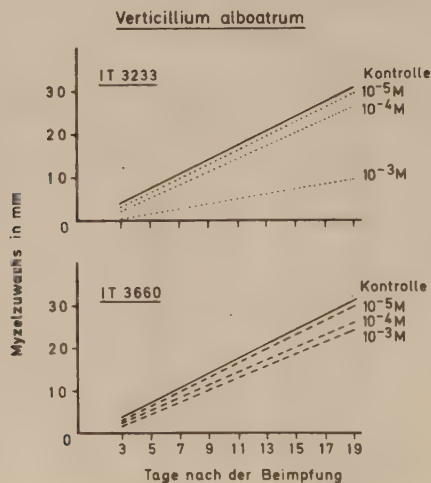


Abbildung 7: Einfluß von zwei Morphaktinen auf das Myzelwachstum von Verticillium alboatrum auf Czapek-Dox-Agar.

Es bestand jedoch die Möglichkeit, daß durch Morphaktin-Behandlung die Bildung fungitoxischer Substanzen in den Pflanzen induziert wurde. Da Verticillium und Fusarium als Gefäßparasiten nach der Infektion zuerst ausschließlich die Tracheen besiedeln, müßten solche Hemmstoffe vor allem im Xylem wirksam werden. Nach 10-tägiger Behandlung wurden daher die Blutungssäfte infizierter und nichtinfizierter, behandelter und nicht behandelter Tomatenpflanzen gewonnen und auf ihre antimykotischen Eigenschaften getestet. In Sporenkeimungsversuchen mit den beiden genannten Pilzen konnten jedoch in keinem Fall hemmende Einflüsse festgestellt werden.

3.2.3.2. Untersuchung der Blutungssäfte auf Aminosäuren
Weiterhin wurde untersucht, ob durch Anwendung der Morphaktine die Ernährungsverhältnisse für die Erreger in den Gefäßen verschlechtert werden. Als C-Quelle für die Pilze innerhalb der Tracheen dürften die Aminosäuren eine wichtige Rolle spielen (ZEEVAART 1955). Daher wurden die Blutungssäfte der Tomatenpflanzen mit Hilfe eines Beckman Aminosäuren-Analysators untersucht. Die Ergebnisse ließen erkennen, daß durch Applikation von Morphaktinen (10^{-7} M IT 3233 bzw. 10^{-8} M IT 3660, jeweils über die Wurzeln) der Aminosäuregehalt der Exsudate im ganzen eher erhöht wird. Dies gilt besonders für infizierte Pflanzen. Die relativ stärksten Zunahmen waren bei Arginin, Threonin, Lysin, Serin und Alanin zu verzeichnen. Tyrosin und Phenylalanin kamen dagegen nur in den Exsudaten der infizierten Kontrollen in größeren Mengen vor. Insgesamt ergab sich kein Hinweis dafür, daß die Hemmung des Pilzwachstums in den Gefäßen morphaktin-behandelter Pflanzen auf einem Mangel an Aminosäuren beruhen könnte.

3.3. Versuche mit Fluoren-Derivaten

3.3.1. Einführung

Die Anwendung von Morphaktinen erhöht bis zu einem gewissen Grade die Resistenz von Tomatenpflanzen sowohl gegen die durch Fusarium und Verticillium verursachten Welkekrankheiten als auch gegen die durch Phytophthora infestans hervorgerufene Krautfäule. Dieser befallsreduzierende Einfluß der Morphaktine steht nicht notwendigerweise in Zusammenhang mit ihrer morphoregulatorischen Wirkung, zumal schon DAVIS et al. (1954) feststellen konnten, daß die chemische Grundstruktur der Morphaktine, das unsubstituierte Fluorenmolekül, eine chemotherapeutische Wirkung gegen die Fusarium-Welke an Tomaten besitzt. VAARTAJA (1956) berichtet über eine Unterdrückung des Rhizoctonia-Befalls an Kiefern-Keimlingen durch Fluoren, wobei allerdings sehr hohe Gaben (5000 ppm) erforderlich waren. Nach MORELLI und

MISLER (1947) verursacht 2-Aminofluoren bei Penicillium notatum Sterilität der Hyphen; überdies wird die Konidio-
phoren-, Pigment- und Penicillin-Bildung stark gehemmt.

Es wurden daher Untersuchungen mit einer Reihe von Fluoren-
derivaten durchgeführt, die vor allem an den physiologisch
aktiven Positionen (9-, 2- bzw. 7-Stellung) des Fluoren-
moleküls Nichtmetalle und/oder verschiedene funktionelle
Gruppen enthielten. Es handelte sich dabei um die in Tab. 16
zusammengestellten und durch die jeweiligen Schmelzpunkte
(F-Werte) ergänzten Substanzen.

Tabelle 16: Die in den Untersuchungen verwendeten Fluoren-
Derivate, ihre F-Werte, Reinheit und Herkunft.

Wirkstoff	Abkür- zung	Schmelz- punkt in °C (F-Wert)	Reinheit	Herkunft
Fluoren	(F)	113-115	purum	Fluka ¹⁾
Bifluoren	(BF)	188	-	Chem.Inst. ²⁾
2-Bromfluoren	(2-BrF)	111,5	-	EGA ³⁾
9-Bromfluoren	(9-BrF)	104-105	-	EGA
9-Chlorfluoren	(ClF)	90	-	EGA
9-Fluorenon	(9-F)	85- 86	puriss.	Fluka
9-Thiofluorenon	(TF)	75- 76	-	
9-Diazofluoren	(DF)	94- 95	-	
9-Hydroxyfluoren	(HF)	158	-	EGA
2-Acetylfluoren	(2-AF)	132	purum	Fluka
2-Nitrofluorenon	(NF)	222	-	Chem.Inst.
9-Fluorenonhydrazon	(FH)	149-150	-	EGA
9-Fluorenonoxim	(FO)	192-195	ca. 98%	EGA
2,7-Dinitrofluoren	(DNF)	340	-	EGA
2-Nitrofluoren	(2-NF)	160-160,5	purum	Fluka
9-Aminofluoren- Hydrochlorid	(AFH)	225-257	-	EGA
2-Aminofluoren	(AF)	126-129	purum	Fluka
N,N-Diacetyl-2-amino- fluoren	(DAAF)	-	-	EGA
9-Fluorenon-2- carbonsäure	(FC)	-	purum	Fluka
Diphenylenglykol- säure	(Dpgs)	-	-	Chem.Inst.

1) Fluka AG., Chem.Fabrik, Buchs, Schweiz

2) Org.Chem.Inst. der Universität Gießen

3) EGA-Chemie KG., Steinheim bei Heidenheim/Brenz

Die F-Werte für die einzelnen Verbindungen wurden dem Beilstein'schen Handbuch für organische Chemie entnommen. Hinsichtlich der F-Werte ergeben sich deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Substanzen, die wahrscheinlich weitgehend durch die Verknüpfung von Nichtmetallen bzw. funktionellen Gruppen mit dem Fluorenmolekül bestimmt werden. Dabei fällt auf, daß Substitutionen mit Nichtmetallen (O,S,N,Cl u. Br) an den Positionen 2 oder 9 des Grundgerüsts den Schmelzpunkt erniedrigen, während demgegenüber die verschiedenen Fluorenderivate mit funktionellen Gruppen im Vergleich zum unsubstituierten Fluoren erhöhte F-Werte aufweisen.

3.3.2. Ergebnisse der Versuche in vivo

3.3.2.1. Fusarium

Nach Tab. 17 besitzen Diazofluoren (DF), Diphenylenglykolsäure (Dpgs), Bifluoren (BF) und 9-Fluorenon-2-carbonsäure (FC) in den angewendeten Konzentrationen einen nur geringen Einfluß auf den Krankheitsbefall. Dpgs unterscheidet sich von den übrigen Fluorenderivaten durch ihre außerordentlich starke morphoregulatorische Wirkung (vgl. Abb. 8).

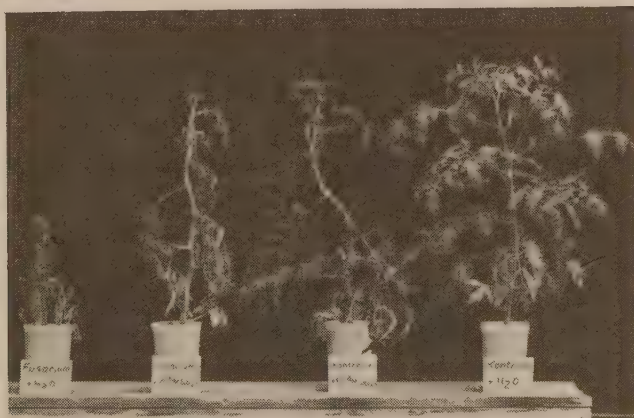
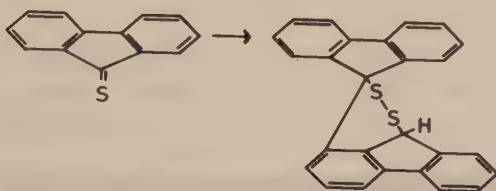


Abbildung 8: Einfluß von 10^{-6} M Diphenylenglykolsäure (Dpgs) auf die Fusarium-Welke und auf die Gestalt von Tomatenpflanzen.

Tabelle 17: Einfluß verschiedener Fluoren-Derivate auf die durch Fusarium en Tomatenpflanzen hervorgerufenen Welkesymptome und Gefäßbräunungen bei Wurzelapplikation. Relativwerte.

Wirkstoff	Konz. (M)	Behandlung vor und nach der Infektion			Behandlung nach der Infektion		
		Welkeerschei- nungen	Gefäß- bräunung	Welkeerschei- nungen	Gefäß- bräunung	Welkeerschei- nungen	Gefäß- bräunung
Unbehandelt		100	100	100	100	100	100
9-Fluorenol (9-F)	10 ⁻³	4,1 ⁺⁺⁺	12,6 ⁺⁺⁺	14,4 ⁺⁺⁺	34,7 ⁺⁺	12,4 ⁺⁺⁺	28,2 ⁺⁺
2-Aminofluoren (AF)	10 ⁻⁴	14,1 ⁺⁺⁺	40,5 ⁺⁺	-	-	18,6 ⁺⁺⁺	50,3 ⁺
9-Fluorenol- hydrazon	5x 10 ⁻⁴	-	-	-	-	21,9 ⁺⁺⁺	46,5 ⁺⁺
9-Fluorenol- hydrazon	10 ⁻⁴	-	-	-	-	17,6 ⁺⁺⁺	28,8 ⁺⁺
9-Aminofluoren- (AFH)	10 ⁻⁴	-	-	-	-	42,2 ⁺⁺	70,1 ⁺
Hydrochlorid		-	-	-	-	29,1 ⁺⁺	56,7 ⁺
9-Thiofluorenol (TF)	10 ⁻⁵	-	-	-	-	46,3 ⁺⁺	80,4
2,7-Dinitrofluoren (DNF)	10 ⁻⁴	8,1 ⁺⁺⁺	20,3 ⁺⁺⁺	-	-	-	-
2,7-Dinitrofluoren (DNF)	10 ⁻⁵	79,2	96,0	-	-	67,3 ⁺	93,6
9-Fluorenoloxim (FO)	5x 10 ⁻⁵	35,3 ⁺⁺	66,8 ⁺	-	-	-	-
9-Fluorenol-2- carbonsäure (FC)	10 ⁻⁴	79,8	93,7	-	-	-	-
N,N-Diacetyl-2- aminofluoren	10 ⁻⁴	28,4 ⁺⁺	57,1 ⁺	-	-	60,1 ⁺	90,7
N,N-Diacetyl-2- aminofluoren	10 ⁻⁵	83,0	99,7	-	-	-	-
Bifluoren (BF)	10 ⁻⁴	-	-	-	-	67,3 ⁺	86,5
Diazofluoren (DF)	10 ⁻⁵	-	-	86,7	103,5	72,4 ⁺	96,7
Diphenylenglykol- säure (Dpgs)	10 ⁻⁵	-	-	78,4	91	70,2	97,3
Diphenylenglykol- säure (Dpgs)	10 ⁻⁶	-	-	84,3	101,3	79,3	95,8

Ausschließliche Nachbehandlung mit 2,7-Dinitrofluoren (DNF), 9-Fluorenonoxim (FO) und N,N-Diacetyl-2-aminofluoren (DAAF) reduzieren die Symptomausprägung immerhin signifikant. Die stärksten befallssenkenden Effekte durch DNF, DAAF und FO (jeweils $10^{-4}M$) wurden dann erzielt, wenn der postinfektionellen Behandlung eine präinfektionelle Anwendung vorausging. Die mit $10^{-4}M$ DNF behandelten Tomatenpflanzen reagierten allgemein mit chlorotischen Erscheinungen an den unteren Blättern. Der Wirkstoff 9-Thiofluorenon (TF) setzte in 10^{-5} molarer Konzentration die Blattsymptome der Fusariose an den Tomaten um etwa 70 % herab. TF stellt eine äußerst instabile Verbindung dar. Schon bei Raumtemperatur wandelt sich die olivgrüne Farbe dieser Substanz in die gelbe der dimeren Form um (SCHÖNBERG 1962), womit zugleich der völ-



lige Verlust der gestaltsverändernden Wirkung an Tomatenpflanzen verbunden ist. Behandlungen der Tomatenpflanzen mit 9-Fluorenon (9-F), 9-Fluorenonhydrazon (FH) und 2-Aminofluoren (AF) verminderten nicht nur die Welkeerscheinungen, sondern auch das Ausmaß der Gefäßbräunung ganz erheblich. Wiederholungen der Versuche bestätigten den starken therapeutischen Effekt dieser Wirkstoffe (vgl. hierzu Abb. 9 u. 10). Allerdings ruft 9-F bei Wurzelapplikation ($10^{-3}M$) leichte bis mittelschwere Schäden an den Tomatenpflanzen hervor, die als Vergilbungs- oder sogar als Absterbeerscheinungen der unteren Blätter zum Ausdruck kommen. Im Gegensatz zu 9-F verursacht der Wirkstoff FH an den Spitzenblättern der Tomaten von den Adern ausgehende Aufhellungen. Die Adern selbst sind dabei oft rötlich gefärbt.



Abbildung 9

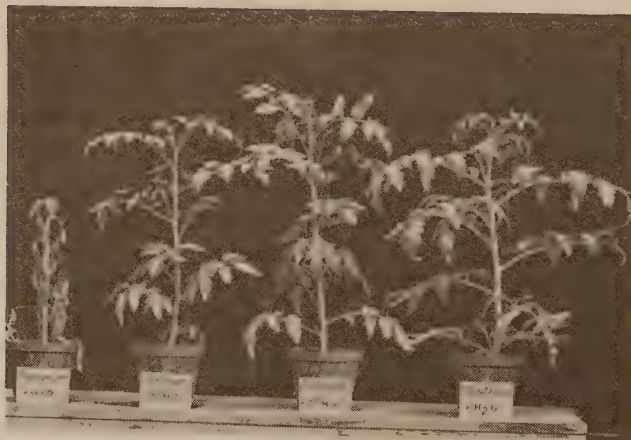


Abbildung 10

Abbildung 9 u. 10: Einfluß von 10^{-4} M Fluorenonhydrazon (FH) und 10^{-3} M 9-Fluorenon (9-F) auf die durch *Fusarium* hervorgerufenen Welkeerscheinungen bei Wurzelapplikation vor und nach der Infektion.

Am wirksamsten gegen den Gefäßparasiten Fusarium erwiesen sich folgende Verbindungen: 2-Acetylfluoren (2-AF), 2-Bromfluoren (2-BrF), 9-Bromfluoren (9-BrF), 9-Chlorfluoren (ClF), 9-Hydroxyfluoren (HF) und 2-Nitrofluoren (NF).

Tabelle 18: Einfluß einiger Fluoren-Derivate auf die durch Fusarium oxysporum f. lycopersici an Tomaten verursachten Welkeerscheinungen und Gefäßbräunungen bei postinfektioneller Wurzelanwendung. Konzentration: $5 \times 10^{-4} M$; Behandlung: 2,5,8,11 und 14 Tage nach der Infektion.

Wirkstoff	Welkeerscheinungen		Gefäßbräunungen	
	23 Tg.p.I. Index	30 Tg.p.I. Index Stat. Sich.	30 Tg. p.I. Index Stat. Sich.	
<u>Infiziert:</u>				
Unbehandelt	91,3	100	100	
Fluoren (F)	9,4	17,9 +++	41,5 ++	
2-Nitrofluoren (NF)	10,6	12,7 +++	10,4 +++	
2-Acetylfluoren (2-AF)	0	9,3 +++	13,4 +++	
9-Hydroxyfluoren (HF)	11,1	13,2 +++	12,9 +++	
<u>Nicht infiziert:</u>				
Unbehandelt	1,7	1,1	0	
Fluoren (F)	1,4	0	0	
2-Nitrofluoren (NF)	5,3	4,9	0	
2-Acetylfluoren (2-AF)	0,4	0,5	0	
9-Hydroxyfluoren (HF)	6,9	5,4	0	

Wie aus Tab. 18 hervorgeht, traten an den behandelten Versuchsreihen erst am 23. Tag geringfügige Krankheitserscheinungen auf, die sich bis zum Versuchsende (30 Tage nach Infektion) kaum noch nennenswert verstärkten. Die infizierten Tomatenpflanzen hingegen waren zu diesem Zeitpunkt bereits vollständig abgestorben. Phytotoxische Schädigungen in Form von Blattrandnekrosen bewirkten vor allem die Substanzen 9-Hydroxyfluoren (HF) und 2-Nitrofluoren (NF). An NF-behandelten Pflanzen traten zudem noch an den Stengeln Braunfärbungen auf. Dagegen wirkte Fluoren selbst nicht so sehr auf die unteren Blätter schädigend, es konnten viel-

mehr, ähnlich wie bei Anwendung von 9-Fluorenonhydrazon, Chlorosen an den oberen Tomatenblättern beobachtet werden. 2-Acetylfluoren-Behandlung schädigte auch in höherer Konzentration ($5 \times 10^{-4} M$) die Tomatenpflanzen nur unwesentlich.

Tabelle 19: Einfluß einiger Fluoren-Derivate auf die durch Fusarium an Tomaten verursachten Welkesymptome und Gefäßbräunungen bei postinfektioneller Wurzelanwendung. Konzentration: $10^{-4} M$.
Behandlung: 2,5,8,11 und 14 Tage nach der Infektion

Wirkstoff	Welkeerscheinungen		Gefäßbräunungen	
	14 Tg.p.I. Index	21 Tg.p.I. Index Stat. Sich.	21 Tg. p.I. Index Stat. Sich.	
<u>Infiziert:</u>				
Unbehandelt	11,8	78,2	93,5	
2-Bromfluoren (2BrF)	6,1	8,4 +++	13,6 +++	
9-Bromfluoren (9BrF)	8,7	22,3 +++	26,5 +++	
9-Chlorfluoren (ClF)	8,4	17,6 +++	26,7 +++	
9-Hydroxyfluoren (HF)	5,2	12,0 +++	22,7 +++	
2-Acetylfluoren (2-AF)	0	9,7 +++	34,1 ++	
2-Nitrofluoren (NF)	4,1	11,4 +++	21,2 +++	
<u>Nicht infiziert:</u>				
Unbehandelt	0	0	0	
2-Bromfluoren	6,7	5,4	0	
9-Bromfluoren	5,8	5,0	0	
9-Chlorfluoren	3,9	3,5	0	
9-Hydroxyfluoren	3,5	4,6	0	
2-Acetylfluoren	0	0,3	0	
2-Nitrofluoren	0,7	0,5	0	

In einem weiteren Versuch (Tab. 19), in den zusätzlich die Halogenderivate 2-Bromfluoren, 9-Bromfluoren und 9-Chlorfluoren einbezogen wurden, erfolgte die Behandlung nach Infektion mit einer schwächeren Konzentration ($10^{-4} M$). Infolge der niedrigen Dosierung wurden die pflanzenschädigenden Erscheinungen sehr stark verringert. Lediglich die Bromderivate lösten auch noch bei dieser Konzentration phyto-

toxische Nebenwirkungen aus. Diese äußerten sich im Absterben der unteren Blätter sowie in einer leichten Aufhellung der gesamten Pflanze. Der befallsreduzierende Einfluß läßt im Vergleich zu den höheren Wirkstoffgaben wohl nach, ist aber trotzdem noch beachtlich. In diesem Versuch kommt weiterhin deutlich zum Ausdruck, wie erheblich die Wirkungsunterschiede sein können, wenn ein und derselbe Substituent jeweils an verschiedenen Positionen des Moleküls angelagert ist. Ein Beispiel hierfür sind die Verbindungen 2-BrF und 9-BrF. Brombindung in Stellung 9 des Fluorenmoleküls senkt den Krankheitsbefall nicht so eindrucksvoll wie Substitution in Position 2. Anwendung schwächerer Konzentrationen führte auch zu höheren Indizes für die Gefäßbräunung. Die Minderung der Welkeerscheinungen ließ sich für sämtliche Versuchsreihen, die der Gefäßbräunungen mit Ausnahme des Versuchsgliedes 2-AF mit sehr hoher Signifikanz sichern.

Die in Tab. 18 und 19 dargestellten Ergebnisse zeigen, daß einigen Fluorenderivaten eine therapeutische Wirkung gegen die Fusarium-Welke zugeschrieben werden kann. In den beiden nächsten Versuchen sollte daher nachgewiesen werden, ob dieselben Verbindungen evtl. protektive Einflüsse gegenüber diesem Welkeerreger besitzen. Wie aus den Befallswerten der einzelnen Versuchsreihen hervorgeht (Tab. 20), können die Welkesymptome an den Tomatenpflanzen allein durch Behandlung vor der Infektion in nahezu gleichem Umfang vermindert werden wie durch postinfektionelle Applikation. Auch die Xylemverfärbungen wurden in fast gleichem Maße eingeschränkt. Außerdem verursachte präinfektionelle Applikation in der höheren Konzentrationsstufe (5×10^{-4} M) je nach Verbindung mehr oder weniger starke, charakteristische Schäden an den Tomaten. Für beide Krankheitsmerkmale (Welkesymptome und Gefäßbräunungen) ergaben sich in allen Versuchsgliedern gesicherte Unterschiede zur unbehandelten Kontrolle.

Tabelle 20: Einwirkung einiger Fluoren-Derivate bei ausschließ-
lich präinfektioneller Wurzelanwendung auf die
durch Fusarium an Tomaten verursachten Welke-
symptome und Gefäßbräunungen.

Konzentration: $5 \times 10^{-4}M$; Behandlung: 8, 6, 4
und 2 Tage vor der Infektion.

Wirkstoff	Welkeerscheinungen			Gefäßbräunungen	
	14 Tg.p.l. Index	21 Tg.p.l. Index Stat. Sich.		21 Tg. p.l. Index Stat. Sich.	
<u>Infiziert:</u>					
Unbehandelt	20,0	95,6		100	
Fluoren (F)	7,8	14,2	+++	21,3	+++
9-Chlorfluoren (ClF)	7,5	12,7	+++	12,6	+++
9-Hydroxyfluoren (HF)	6,9	12,3	+++	11,2	+++
2-Acetylfluoren (2-AF)	1,1	7,5	+++	15,7	+++
2-Nitrofluorenon (NF)	5,4	9,8	+++	18,7	+++
<u>Nicht infiziert:</u>					
Unbehandelt	0	0		0	
Fluoren	0,5	0,3		0	
9-Chlorfluoren	5,6	4,9		0	
9-Hydroxyfluoren	5,1	5,4		0	
2-Acetylfluoren	0,7	0,7		0	
2-Nitrofluorenon	6,2	5,8		0	

Die Resultate eines zweiten Versuchs, in dem die Wirk-
stoffe ebenfalls präinfektionell, jedoch in 10^{-4} molarer
Konzentration angewendet wurden, sind in Tab. 21 wieder-
gegeben. Die niedrigeren Wirkstoffgaben ließen zwar wieder-
um ausgeprägtere Krankheitssymptome an den Blättern und in
den Gefäßen zu, aber dennoch waren sämtliche Befallsunter-
schiede zur Kontrolle mit $p < 1\%$ statistisch gesichert.

Tabelle 21: Einfluß verschiedener Fluoren-Verbindungen bei präinfektioneller Applikation über die Wurzeln auf die durch Fusarium an Tomaten verursachten Welkeerscheinungen und Gefäßbräunungen.

Konzentration: $10^{-4}M$; Behandlung: 8, 6, 4 und 2 Tage vor der Infektion.

Wirkstoff	Welkeerscheinungen		Gefäßbräunungen	
	14 Tg.p.I. Index	21 Tg.p.I. Index Stat. Sich.	21 Tg. p.I. Index Stat. Sich.	
<u>Infiziert:</u>				
Unbehandelt	9,7	80,5	96,8	
2-Bromfluoren (2-BrF)	4,4	9,2 +++	18,0	+++
9-Chlorfluoren (ClF)	3,1	27,3 ++	53,2	+
9-Hydroxyfluoren (HF)	3,6	18,6 +++	32,5	++
2-Acetylfluoren (2-AF)	0,8	20,4 +++	38,0	++
2-Nitrofluorenon (NF)	2,8	15,0 +++	36,1	++
<u>Nicht infiziert:</u>				
Unbehandelt	0	1,3	0	
2-Bromfluoren	3,9	2,5	0	
9-Chlorfluoren	3,6	1,8	4,5	
9-Hydroxyfluoren	3,1	3,5	0	
2-Acetylfluoren	0	0	0	
2-Nitrofluorenon	3,2	0,9	0	

Allgemein läßt sich die Feststellung treffen, daß die Blattsymptome stärker reduziert wurden als die Gefäßbräunung in den Stengeln. Wurden aber die Substanzen im Gießverfahren sowohl vor als auch nach Inokulation angewendet, so konnte die stärkste therapeutische Wirkung festgestellt werden (vgl. Abb. 11). Während die Ausbreitung der Welkeerscheinungen an den infizierten Kontrollpflanzen vom 15. Tag nach der Beimpfung an sehr intensiv verlief, war an den 2-Nitrofluorenon (NF)- und 2-Acetylfluoren (2-AF)-Versuchsgliedern bis zu diesem Termin - was ungefähr der Zeitspanne der postinfektionellen Behandlungen entspricht - noch kein sichtbarer Befall festzustellen.

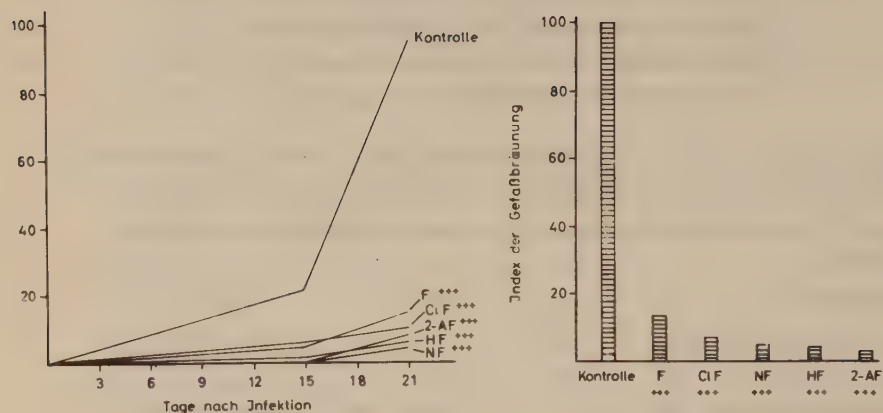


Abbildung 11: Einfluß von Fluoren (F), 2-Acetylfluoren (2-AF), 9-Chlorfluoren (ClF), 9-Hydroxyfluoren (HF) und 2-Nitrofluoren (NF) bei prä- und postinfektioneller Wurzelanwendung auf die durch *Fusarium* verursachten Welkesymptome und Gefäßbräunungen (Auswertung 21 Tg.p.I.). Konzentration: 5×10^{-4} M; Behandlung: 6, 4. und 2. Tag vor sowie 2., 5., 8., 11. und 14. Tag nach Inokulation.

An den Fluoren (F)-, 9-Chlorfluoren (ClF)- und 9-Hydroxyfluoren (HF)- Versuchsreihen konnte eine schwache Erkrankung beobachtet werden. Bis zur endgültigen Versuchsauswertung (21 Tage nach Inokulation) waren die unbehandelten Pflanzen bereits vollständig abgestorben, während sich die Welke an den behandelten Tomaten nur noch unwesentlich verstärkte. Nicht nur die äußeren Befallserscheinungen wurden durch Behandlung vor und nach der Infektion am eindeutigsten unterdrückt, sondern auch die Gefäßverfärbungen in den Stengeln.

Ferner wurden in diesen Versuchen auch die stärksten phyto-toxischen Schädigungen an den Tomatenpflanzen beobachtet, wie u.a. aus Tab. 22 hervorgeht.

Tabelle 22: Einfluß verschiedener Fluoren-Derivate bei prä- und postinfektioneller Wurzelanwendung auf die durch Fusarium verursachten Welkesymptome und Gefäßbräunungen.

Konzentration: $5 \times 10^{-4} M$; Behandlung: 6, 4 und 2 Tage vor sowie 2, 5, 8, 11 und 14 Tage nach der Inokulation.

Wirkstoff	Welkeerscheinungen		Gefäßbräunungen	
	24 Tg.p.I. Index	30 Tg.p.I. Index Stat. Sich.	30 Tg. p.I. Index Stat. Sich.	
<u>Infiziert:</u>				
Unbehandelt	72,6	96,7	100	
Fluoren (F)	6,0	10,1 +++	23,2	+++
9-Hydroxyfluoren (HF)	20,5	20,0 +++	7,0	+++
2-Acetylfluoren (2-AF)	0,4	2,0 +++	10,6	+++
2-Nitrofluorenon (NF)	11,1	14,5 +++	3,4	+++
<u>Nicht infiziert:</u>				
Unbehandelt	1,4	1,9	0	
Fluoren	0,8	0	0	
9-Hydroxyfluoren	15,9	15,7	0	
2-Acetylfluoren	0	0	0	
2-Nitrofluorenon	8,9	8,7	0	

Trotz längerer Versuchsdauer lagen die Werte für die Welkeerscheinungen zu Versuchsende (30 Tage nach Beimpfung) nicht nennenswert über denen eines früheren Auswertungstermines (24. Tag). Die Ausbreitung der Xylemverfärbung wurde durch die verlängerte Versuchsperiode ebenfalls nicht gefördert.

An Stelle einer zusätzlichen Tabelle sollen die Abbildungen 12 bis 14 den befallssenkenden Einfluß einiger wirksamer Fluorenderivate auf die Fusarium-Welke an Tomaten bei niedriger Aufwandmenge ($10^{-4} M$) veranschaulichen.



Abbildung 12



Abbildung 13



Abbildung 14

Abbildung 12-14: Wirkung von jeweils $10^{-4}M$ 2-Acetylfluoren (2-AF), 2-Nitrofluorenon und 9-Chlorfluoren (ClF) auf die Fusarium-Welke an Tomaten bei prä- und postinfektioneller Wurzelapplikation. Behandlung: 6, 4 und 2 Tage vor sowie 2, 5, 8, 11 und 14 Tage nach Beimpfung. Von links nach rechts: infiziert, unbehandelt - infiziert, behandelt - nicht-infiziert, behandelt - nichtinfiziert, unbehandelt.

Da die Anwendung verschiedener Fluorenderivate über die Wurzeln der Versuchspflanzen sowohl protektive als auch kurative Effekte gegen den Welkeerreger erkennen ließ, war es weiterhin von Interesse festzustellen, ob diese Substanzen auch bei Blattapplikation Befallsminderungen hervorrufen würden. Der Befund von DAVIS et al. (1954), daß das unsubstituierte Fluoren bei Blattbehandlung keinen Einfluß auf die Fusariose hatte, konnte bestätigt werden (Tab. 23). Die verschiedenen Derivate des Fluorens aber rufen, wenigstens zum Teil, auch bei dieser Applikationsform mehr oder

weniger gesicherte Befallsunterschiede hervor, wie 9-Bromfluoren, 2-Bromfluoren, 9-Hydroxyfluoren und 2-Nitrofluorennon.

Tabelle 23: Einfluß prä- und postinfektioneller Blattapplikation von einigen Fluoren-Derivaten auf die durch Fusarium an Tomaten verursachten Welkesymptome und Gefäßbräunungen.

Konzentration: $10^{-4}M$; Behandlung: 6, 4 und 2 Tage vor sowie 2,4,6,8,10 und 12 Tage nach Inokulation.

Wirkstoff	Welkeerscheinungen		Gefäßbräunungen	
	15 Tg.p.I. Index	21 Tg.p.I. Index Stat. Sich.	21 Tg.p.I. Index Stat. Sich.	21 Tg.p.I. Index Stat. Sich.
<u>Infiziert:</u>				
Unbehandelt	12,7	72,4	91,2	
Fluoren (F)	15,3	67,9 -	97,5 -	
2-Bromfluoren (2-BrF)	9,0	50,1 +	80,2 -	
9-Bromfluoren (9-BrF)	10,5	52,9 +	72,0 -	
9-Chlorfluoren (ClF)	10,0	66,5 -	68,4 -	
9-Hydroxyfluoren (HF)	9,5	33,4 ++	67,3 -	
2-Acetylfluoren (2-AF)	9,6	60,8 -	83,5 -	
2-Nitrofluorennon (NF)	8,7	30,3 ++	63,3 -	
<u>Nicht infiziert:</u>				
Unbehandelt	0	0	0	
Fluoren	0	0	0	
2-Bromfluoren	5,6	4,2	0	
9-Bromfluoren	4,3	4,0	0	
9-Chlorfluoren	3,1	3,3	0	
9-Hydroxyfluoren	6,7	7,1	0	
2-Acetylfluoren	0	0	0	
2-Nitrofluorennon	4,3	3,7	0	

Bei Betrachtung der entsprechenden Indizes für die Gefäßbräunungen ergibt sich, daß diese durch Blattbehandlung mit Fluoren-im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle - kaum beeinflußt wird, während die übrigen Derivate das Ausmaß der Gefäßbräunung - wenn auch nicht in statistisch gesichertem Maße - vermindern. In wiederholten Versuchen

mit Blattanwendung zeigten diese Verbindungen nicht immer die gleiche Wirkungsintensität; zum Teil erbrachten sie gegenüber der Fusarium-Welke bessere, zum Teil auch schlechtere Resultate.

Rückisolierungen

Der in Tab. 22 wiedergegebene Versuch wurde so angelegt, daß während der Versuchsdauer 4mal in wöchentlichem Abstand aus den einzelnen Versuchsgliedern je 3 Pflanzen entnommen und auf den Myzelgehalt der einzelnen Stengelabschnitte untersucht wurden. In den unteren Internodien der unbehandelten Kontrollpflanzen erhöhte sich die Myzelmenge bis zum 14. Tag nach der Infektion sehr stark und erreichte zu diesem Zeitpunkt ihr Maximum. Im weiteren Krankheitsverlauf verringerte sich die Myzelmenge zunächst nur geringfügig, um dann nach der 3. Woche erheblich abzunehmen (Abb. 15 und 16).

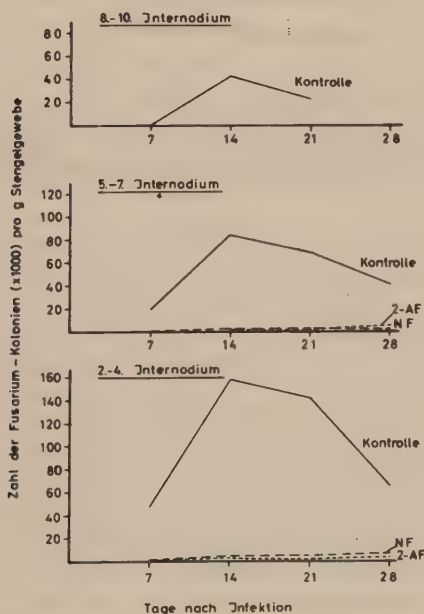


Abbildung 15: Einfluß von jeweils 5×10^{-4} M 2-Acetylfluoren (2-AF) und 2-Nitrofluoren (NF) auf die Entwicklung von Fusarium oxysporum f. lycopersici in den Stengeln infizierter Tomatenpflanzen.

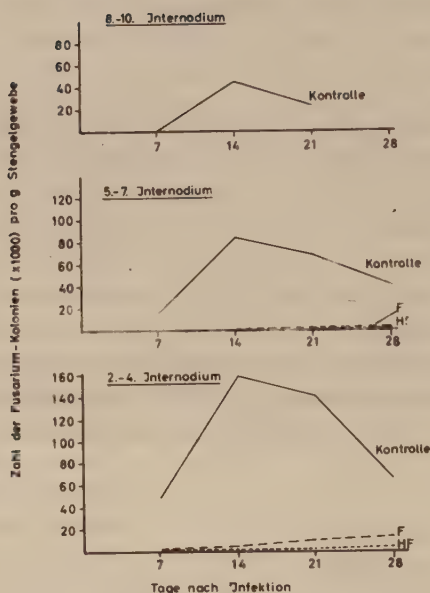


Abbildung 16: Einfluß von jeweils 5×10^{-4} M Fluoren (F) und 9-Hydroxyfluoren (HF) auf die Entwicklung von *Fusarium oxysporum* f. *lycopersici* in den Stengeln infizierter Tomatenpflanzen.

Ähnliche Veränderungen der Pilzmenge konnten im mittleren Stengelteil (5. bis 7. Internodium) beobachtet werden, allerdings war nach 2 Wochen die Myzelmenge pro g Stengel nur etwa halb so groß wie im unteren Stengelabschnitt. 7 Tage nach der Inokulation war der Pilz noch nicht bis in die oberen 3 Internodien (8. bis 10. Internodium) vorgedrungen, doch nach einer weiteren Woche wurde auch hier die höchste Pilzmenge nachgewiesen, danach fiel sie wieder stark ab. Zum letzten Termin jedoch konnten an den oberen Internodien keine Rückisolierungen mehr vorgenommen werden, da dieser Stengelteil bereits vollständig abgestorben war. Zwischen der Myzelmenge im Stengel und der Ausprägung der Blattsymptome läßt sich eine Beziehung aufstellen. Während die Pilzmenge ihre maximalen Werte erreicht, er-

führt auch die Symptomausprägung ihre stärkste Zunahme (vgl. MATTA und DIMOND 1963). Die Behandlung der Tomatenpflanzen mit den wirksamsten Verbindungen bestätigte auch in diesen Untersuchungen, daß die Ausbreitung und Vermehrung des Gefäßparasiten Fusarium in den Stengeln tatsächlich sehr stark eingeschränkt werden kann. So hatte der Pilz zum 1. Untersuchungstermin in den Fluoren (F)- und 9-Hydroxyfluoren (HF)-Versuchsreihen ausschließlich die unteren Stengelteile schwach besiedelt. Die Myzelmenge nahm dann in diesem Stengelbereich zum Versuchsende nur noch unbedeutend zu. Sowohl die Vermehrung als auch die Ausbreitung des Pilzes wurde in den behandelten Pflanzen entscheidend verzögert, wie aus dem Verlauf der Kurven im mittleren Stengelabschnitt hervorgeht. In die letzten 3 Internodien drang der Pilz nicht ein. Diese Rückisolierungsergebnisse stehen in Einklang mit den Indizes für die Gefäßbräunungen (vgl. dazu Tab. 22).

3.3.2.2. Verticillium

Da nach den bisherigen Untersuchungen einige Fluorenderivate durchaus in der Lage waren, die durch Fusarium an Tomatenpflanzen verursachten Welkeerscheinungen weitgehend zu verhindern, lag es nahe, diese Mittel auch auf ihren Einfluß gegenüber Verticillium alboatrum an Tomaten zu prüfen.

Die in Tab. 24 dargestellten Ergebnisse zeigen den Effekt verschiedener Fluorenderivate bei präinfektioneller Behandlung auf die Krankheitsbereitschaft der Tomaten gegenüber der Verticillium-Welke. Bemerkenswerterweise waren die infizierten Kontrollpflanzen bis zum Versuchsabschluß durch eine auffallend schwache Erkrankung an den Blättern gekennzeichnet, während demgegenüber der Index für die Gefäßbräunung mehr als doppelt so hoch lag. Die 3 Wirkstoffe (NF, HF und 2-AF) vermochten sowohl die Blattsymptome als auch die Braunfärbung im Xylem zu reduzieren.

Tabelle 24: Einfluß einiger Fluoren-Derivate bei präinfektioneller Wurzelapplikation auf die durch Verticillium alboatrum an Tomaten hervorgerufenen Welkesymptome und Gefäßbräunungen.

Konzentration: 10^{-4} M; Behandlung: 4 und 2 Tage vor der Infektion.

Wirkstoff	Welkeerscheinungen		Gefäßbräunungen	
	18 Tg.p.I. Index	33 Tg.p.I. Index Stat. Sich.	33 Tg. p.I. Index Stat. Sich.	
<u>Infiziert:</u>				
Unbehandelt	5,3	40,1	93,7	
9-Hydroxyfluoren (HF)	6,6	15,4 ++	37,1	++
2-Acetylfluoren (2-AF)	0,7	17,1 ++	52,5	+
2-Nitrofluorenon (NF)	4,4	10,9 +++	31,2	++
<u>Nicht infiziert:</u>				
Unbehandelt	0,5	1,6	0	
9-Hydroxyfluoren	4,9	3,7	0	
2-Acetylfluoren	1,5	0	0	
2-Nitrofluorenon	3,5	2,9	0	

Es ließ sich hier wiederum die bereits bei Fusarium beobachtete Erscheinung bestätigen, daß die Braunfärbung der Gefäße sich weit höher im Stengel erstreckt, als auf Grund der Welkesymptome an den Blättern vermutet werden konnte. Eine Wiederholung dieser Versuche ergab ähnliche Resultate. Die endgültige Versuchsauswertung erfolgte in diesem Falle nach 30 Tagen. Die Welkeerscheinungen der einzelnen Versuchsreihen hatten folgende Indizes: Kontrolle: 46,0; 10^{-4} M 2-Acetylfluoren (2-AF) : 19,2⁺⁺; 10^{-4} M 9-Hydroxyfluoren (HF) : 22,0⁺⁺ und 10^{-4} M 2 Nitrofluorenon (NF) : 11,9⁺⁺⁺. Die entsprechenden Werte für die Gefäßbräunung betrugen für die Kontrolle: 96,5; 10^{-4} M 2-AF : 61,9⁺; 10^{-4} M HF : 59,2⁺; 10^{-4} M NF : 48,9⁺. Außerdem wurde die Wirkung derselben Substanzen (10^{-4} M) gegenüber Verticillium bei präinfektioneller Blattapplikation geprüft (Tab. 25). Die welkemindernden Effekte der 3 Substanzen erwiesen sich bei Anwendung über das Blatt, trotz teilweiser gesicherter

Unterschiede, wesentlich schwächer als bei Wurzelbehandlung. Das gleiche trifft auch für die Xylemverbräunungen zu.

Tabelle 25: Einfluß einiger Fluoren-Derivate auf die durch Verticillium an Tomaten verursachten Welkesymptome und Gefäßbräunungen bei präinfektioneller Blattapplikation.

Konzentration: $10^{-4}M$; Behandlung: 4 und 2 Tage vor der Infektion.

	Welkeerscheinungen			Gefäßbräunungen	
	18 Tg.p.I. Index	33 Tg.p.I. Index	Stat. Sich.	33 Tg. p.I. Index	Stat. Sich.
<u>Infiziert:</u>					
Unbehandelt	5,3	40,1		93,7	
9-Hydroxyfluoren (HF)	7,6	26,3	+	64,2	+
2-Acetylfluoren (2-AF)	5,1	31,5	-	78,8	-
2-Nitrofluorenon (NF)	3,2	23,7	+	62,6	+
<u>Nicht infiziert:</u>					
Unbehandelt	0,5	1,6		2,9	
9-Hydroxyfluoren	5,4	6,5		0	
2-Acetylfluoren	2,1	1,8		0	
2-Nitrofluorenon	0,6	0,9		1,5	

Weiterhin erschien es notwendig, neben der prophylaktischen auch die kurative Wirkung einiger Fluorenderivate an Verticillium-kranken Tomaten zu testen. Tab. 26 zeigt die Ergebnisse eines Versuches, in dem die Mittel am 2. und 4. Tag nach der Beimpfung der Pflanzen über die Wurzeln appliziert wurden. Die Krankheitsentwicklung verlief hier anders als allgemein beobachtet ab. Die Welkesymptome traten schon zu einem ungewohnt frühen Zeitpunkt nach der Infektion auf, breiteten sich anschließend bis zum 21. Tag rasch an den Tomatenpflanzen aus und stagnierten danach bis zum 30. Tag. Wahrscheinlich wurden in diesem Versuch durch Änderung der Umweltfaktoren, vor allem der Temperatur, die Vitalität des Erregers und/oder die Krankheitsanfälligkeit der Pflanze derart beeinflusst, daß die Symptome der Erkrankung sich kaum noch verstärkten. Besonders die 2. Hälfte dieser Versuchsperiode

Tabelle 26: Einfluß verschiedener Fluoren-Derivate auf die durch Verticillium an Tomaten hervorgerufenen Krankheitssymptome bei postinfektioneller Wurzelapplikation.

Konzentration: $10^{-4}M$; Behandlung: 2 und 4 Tage nach der Infektion.

Wirkstoff	Welkeerscheinungen			Gefäßbräunungen	
	21 Tg.p.I. Index	30 Tg.p.I. Index	Stat. Sich.	30 Tg. p.I. Index	Stat. Sich.
<u>Infiziert:</u>					
Unbehandelt	41,9	44,6		77,4	
Fluoren (F)	10,4	16,1	++	56,2	-
2-Bromfluoren (2-BrF)	15,4	19,5	++	61,4	-
9-Chlorfluoren (ClF)	19,8	25,4	++	58,9	-
9-Hydroxyfluoren (HF)	18,2	21,7	++	63,8	-
2-Nitrofluorenon (NF)	12,7	17,9	++	62,0	-
9-Fluorenonhydrazon (FH)	16,3	23,2	+	58,7	-
<u>Nicht infiziert:</u>					
Unbehandelt	0	2,1		0	
Fluoren	0	1,7		0	
2-Bromfluoren	3,9	3,8		0	
9-Chlorfluoren	2,1	2,5		0	
9-Hydroxyfluoren	3,0	3,4		0	
2-Nitrofluorenon	2,5	2,7		0	
9-Fluorenonhydrazon	1,4	1,8		0	

war durch außerordentlich hohe relative Luftfeuchte und fehlende Sonneneinstrahlung charakterisiert. Auch bei ausschließlich postinfektioneller Behandlung zeichneten sich wiederum diejenigen Substanzen durch eine Hemmung der Krankheitsentwicklung aus, die sich in allen bisher beschriebenen Versuchen gegen die beiden Pilze am wirksamsten erwiesen hatten, wie 9-Chlorfluoren, 9-Fluorenonhydrazon, 9-Hydroxyfluoren, 2-Bromfluoren, Fluoren und 2-Nitrofluorenon. Dagegen vermochten die gleichzeitig geprüften Verbindungen 2-Aminofluoren und 9-Fluorenon die Symptomausprägung nicht entscheidend zu beeinträchtigen.

Einige Fluorenderivate schränkten also sowohl bei präinfektioneller als auch bei postinfektioneller Behandlung die Verticillium-Welke ein. Allerdings waren die Unterschiede zur kranken Kontrolle nicht immer sehr deutlich.

In einem weiteren Versuch wurden mehrere Verbindungen auf ihre welkereduzierende Wirkung bei prä- und postinfektioneller Applikation geprüft (Tab. 27 und 28).

Tabelle 27: Einfluß einiger Fluoren-Derivate auf die durch Verticillium an Tomaten hervorgerufenen Welkesymptome und Gefäßbräunungen bei prä- und postinfektioneller Wurzelapplikation.

Konzentration: 10^{-4} M; Behandlung: 8, 6, 4 und 2 Tage vor sowie 2, 5, 8 und 11 Tage nach der Infektion.

Wirkstoff	Welkeerscheinungen		Gefäßbräunungen	
	21 Tg.p.I. Index	29 Tg.p.I. Index Stat. Sich.	29 Tg. p.I. Index Stat. Sich.	
<u>Infiziert:</u>				
Unbehandelt	49,5	78,9	91,0	
Fluoren (F)	2,3	11,6 +++	44,9	++
2-Bromfluoren (2-BrF)	7,4	10,9 +++	40,1	++
9-Chlorfluoren (ClF)	6,8	10,2 +++	45,7	++
9-Hydroxyfluoren (HF)	5,8	8,1 +++	31,5	++
2-Acetylfluoren (2-AF)	1,9	5,3 +++	28,8	++
2-Nitrofluorenon (NF)	3,7	6,8 +++	33,7	++
<u>Nicht infiziert:</u>				
Unbehandelt	0,7	1,2	0	
Fluoren	0	0	0	
2-Bromfluoren	3,7	4,5	0	
9-Chlorfluoren	2,4	2,2	0	
9-Hydroxyfluoren	3,1	3,1	0	
2-Acetylfluoren	0,8	1,8	0	
2-Nitrofluorenon	0,6	1,5	0	

Um phytotoxische Schäden möglichst niedrig zu halten, wurde die erste Applikation relativ spät durchgeführt (7.-8. Blattstadium). Denn infolge der geringeren Lichtintensität wäh-

rend der Verticillium-Versuche (Frühjahr und Herbst) reagierten die jungen Tomatenpflanzen auch schon auf schwächere Konzentrationen (z.B. $10^{-4}M$) einiger Fluorenderivate (HF, 9-BrF, 2-BrF) mit gewissen Absterbeerscheinungen an den unteren Blättern. Bei Betrachtung des Krankheitsverlaufs der beimpften Kontrollpflanzen fiel die intensive Symptomausprägung auf, die ähnlich verlief wie nach Infektion mit Fusarium. Offenbar schien das Auftreten dieser akuten Erkrankung an das Vorhandensein besonders günstiger Umweltfaktoren geknüpft zu sein, wobei vor allem Temperatur und Sonneneinstrahlung für die Vitalität von Verticillium albo-atrum entscheidend sind. Ein typischer Unterschied zwischen Fusariosen und Verticilliosen besteht im allgemeinen darin, daß sich bei Verticillium der Krankheitsablauf langsam vollzieht, während nach Infektion mit Fusarium ein plötzliches Welken einsetzt. Nach Tab. 27 bewirken die Substanzen NF, 2-AF, HF, 2-BrF, ClF und F eine starke Unterdrückung der Welkesymptome, wie es Abb. 17-19 veranschaulichen. Trotz der drastisch verminderten Krankheitserscheinungen an den Blättern konnten bemerkenswert hohe Indizes für die Gefäßbräunungen festgestellt werden.

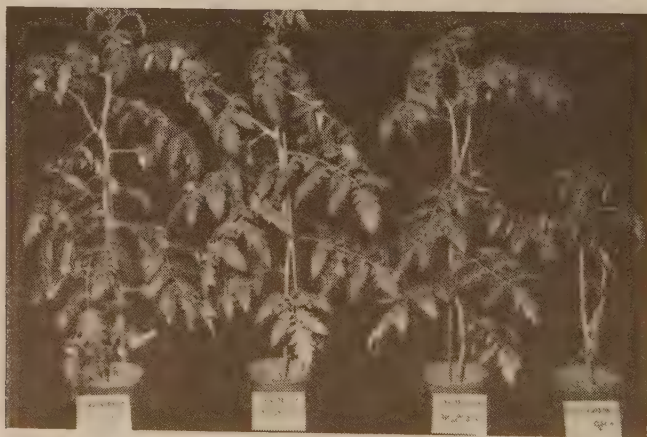


Abbildung 17

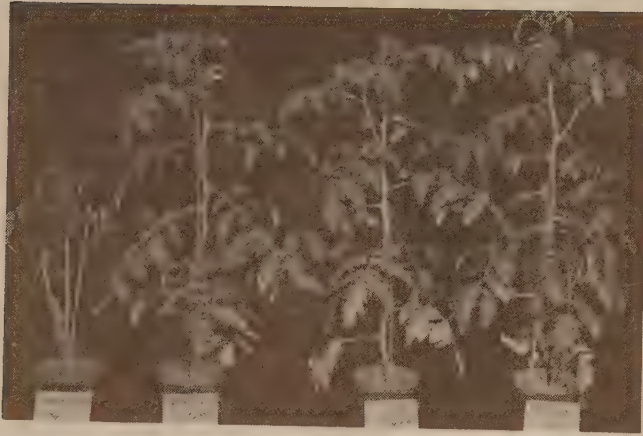


Abbildung 18



Abbildung 19

Abbildung 17-19: Einfluß von jeweils $10^{-4}M$ 2-Nitrofluorenon (NF), 2-Acetylfluoren (2-AF) und 9-Hydroxyfluoren (HF) auf die Verticillium-Welke an Tomaten bei Behandlung vor und nach der Infektion.

Gleichzeitig wurden die Verbindungen 9-Aminofluoren-Hydrochlorid (AFH), N,N-Diacetyl-2-aminofluoren (DAAF), 9-Thiofluorenon (TF) und Fluorenon-2-carbonsäure (FC) in die in Tab. 27 beschriebene Versuchsanstellung aufgenommen (Tab. 28).

Tabelle 28: Einfluß einiger Fluoren-Derivate auf die durch Verticillium an Tomaten hervorgerufenen Welkeerscheinungen und Gefäßbräunungen bei prä- und postinfektioneller Wurzelapplikation.

Konzentration: $10^{-4}M$; Behandlung: 8, 6, 4 und 2 Tage vor sowie 2, 5, 8 und 11 Tage nach der Infektion.

Wirkstoff	Welkeerscheinungen		Gefäßbräunungen	
	21 Tg.p.I. Index	29 Tg.p.I. Index Stat. Sich.	29 Tg. p.I. Index Stat. Sich.	
<u>Infiziert:</u>				
Unbehandelt	49,5	78,9	91,0	
9-Thiofluorenon (TF)	15,8	27,2 ++	68,5	-
9-Fluorenon-2-carbonsäure (FC)	34,1	61,3 -	90,2	-
N,N-Diacetyl-2-aminofluoren (DAAF)	7,9	23,7 ++	64,0	-
9-Aminofluoren-Hydrochlorid (AFH)	11,0	24,4 +++	60,1	+
<u>Nicht infiziert:</u>				
Unbehandelt	2,1	2,5	0	
9-Thiofluorenon	7,7	10,8	0	
9-Fluorenon-2-carbonsäure	0,7	1,3	0	
N,N-Diacetyl-2-aminofluoren	1,0	0,6	0	
9-Aminofluoren-Hydrochlorid	8,4	13,1	0	

Im Laufe der Erkrankung wurde die Ausprägung der Blattsymptome in den AFH-, DAAF- und TF-behandelten Versuchsgliedern entscheidend verzögert, während FC kaum einen befallsmindernden Einfluß ausübte. Die Ergebnisse für die Gefäßbräunung lassen erkennen, daß die Ausbreitung des Pilzes im Stengel durch die drei erstgenannten Verbindungen

schwach, durch FC gar nicht gehemmt wurde. Übrigens wurden durch mehrmalige Behandlung der Pflanzen sowohl mit AFH als auch mit TF starke Nekrosen an den unteren Blättern verursacht.

Auf Grund der Tatsache, daß die Indizes für die Gefäßverfärbung trotz schwacher Welkesymptome recht hoch lagen, erschien die Frage berechtigt, ob die Gefäßbräunung mit der Ausbreitung des Erregers in den Leitungsbahnen tatsächlich übereinstimmt, oder ob die Verbräunung der Pilzbesiedlung vorausgeht. Aus den in Tab. 27 und 28 beschriebenen Versuchen wurden daher zu Versuchsende je 2 Pflanzen eines Versuchsgliedes für Rückisolierungen ausgewählt.

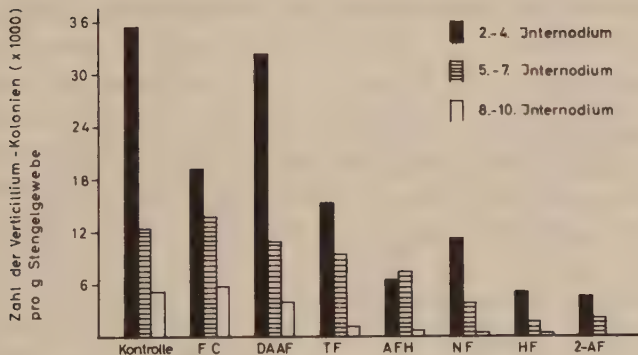


Abbildung 20: Einfluß von 9-Fluoren-2-carbonsäure (FC), N,N-Diacetyl-2-aminofluoren (DAAF), Thiofluoren (TF), 9-Aminofluoren-Hydrochlorid (AFH), 2-Nitrofluoren (NF), 9-Hydroxyfluoren (HF) und 2-Acetylfluoren (2-AF) auf die Entwicklung von *Verticillium albo-atrum* in den Stengeln infizierter Tomatenpflanzen bei Wurzelapplikation. Auswertung 29 Tage p.I.; Konzentration jeweils $10^{-4}M$; Behandlung: 8, 6, 4 und 2 Tage vor sowie 2, 5, 8 und 11 Tage nach der Infektion.

Aus Abb. 20 ergibt sich, daß die Zahl der Verticillium-kolonien pro g Stengelgewebe der kranken Kontrolle wesentlich niedriger liegt als die entsprechenden Werte bei Fusarium-Rückisolierungen.

Die wirksamsten Fluorenderivate verminderten den Pilzbesatz in den Leitungsbahnen der Tomatenpflanzen sehr deutlich. Aus den unteren und mittleren Internodien konnte Verticillium nur in geringem Maße isoliert werden, aus dem oberen Stengelabschnitt oft nur in Spuren. Ergänzend muß noch erwähnt werden, daß an infizierten Tomatenpflanzen als erstes Krankheitsmerkmal Wuchsstauchungen auftreten. So hatten die infizierten Kontrollpflanzen nicht mehr als 10 Internodie ausgebildet, während die zusätzlich behandelten Tomatenpflanzen häufig 3 bis 4 Internodien mehr aufwiesen, von denen jedoch keine weiteren Rückisolierungen vorgenommen wurden. Die weniger welkereduzierenden Verbindungen FC, DAAF und TF beeinflussten die Myzelausbreitung im Xylem der Tomatenstengel nur schwach.

3.3.2.3. Phytophthora

Schließlich wurde geprüft, ob Fluoren und einige seiner Derivate den Phytophthora-Befall an Tomaten stärker herabsetzen als die strukturell nahverwandten Morphaktine. Zur Gewinnung eines Gesamtüberblickes erfolgte die Applikation der Wirkstoffe teilweise über die Wurzeln im Gießverfahren mit 50 ml einer 10^{-4} M-Lösung am 6., 4. und 2. Tag vor der Infektion, teilweise über die Blätter mit 4-5 ml/Pflanze einer 5×10^{-4} M bzw. 10^{-4} M-Lösung 5, 3 und 1 Tag vor der Inokulation. Da auf Grund der großen Zahl der zu prüfenden Verbindungen und des begrenzten Inkubationsraumes mehrere zeitlich hintereinanderliegende Versuche notwendig waren, konnte erwartungsgemäß zum Versuchsabschluß (6 Tage nach der Infektion) mit keinem einheitlichen Befallsindex gerechnet werden. Jedoch erlauben die Relativwerte des Blattbefalls mit gewissen Einschränkungen einen Vergleich der Wirksamkeit der einzelnen Fluorenderivate gegen Phytophthora infestans.

Tabelle 29: Einfluß präinfektioneller Blatt- und Wurzelapplikation von Fluoren-Derivaten auf den durch Phytophthora infestans an Tomaten hervorgerufenen Blattbefall (Relativwerte).

Präinfektionelle Blattanwendung: 5, 3 und 1 Tag vor der Infektion.

Präinfektionelle Wurzelanwendung: 6, 4 und 2 Tage vor der Infektion.

Wirkstoff	Konz. (M)	Blattan- wendung	Wurzelan- wendung
Unbehandelt	-	100	100
Fluoren (F)	10^{-4}	55,3 ⁺⁺	39,0 ⁺⁺
Bifluoren (BF)	10^{-4}	86,4	96,4
2-Bromfluoren (2-BrF)	5×10^{-4}	0,4 ⁺⁺⁺	-
2-Bromfluoren (2-BrF)	10^{-4}	10,4 ⁺⁺⁺	22,0 ⁺⁺
9-Bromfluoren (9-BrF)	10^{-4}	48,9 ⁺⁺	68,8 ⁺
9-Chlorfluoren (ClF)	5×10^{-4}	17,3 ⁺⁺⁺	-
9-Chlorfluoren (ClF)	10^{-4}	20,1 ⁺⁺⁺	57,5 ⁺
9-Fluorenol (9-F)	10^{-4}	61,0 ⁺⁺	67,5 ⁺
9-Thiofluorenol (TF)	5×10^{-4}	6,7 ⁺⁺⁺	-
9-Thiofluorenol (TF)	10^{-4}	15,0 ⁺⁺⁺	-
9-Hydroxyfluoren (HF)	5×10^{-4}	2,4 ⁺⁺⁺	-
9-Hydroxyfluoren (HF)	10^{-4}	17,7 ⁺⁺⁺	44,8 ⁺⁺
2-Acetylfluoren (2-AF)	10^{-4}	34,1 ⁺⁺	73,9 ⁺
2-Nitrofluorenol (NF)	5×10^{-4}	16,4 ⁺⁺⁺	-
2-Nitrofluorenol (NF)	10^{-4}	29,7 ⁺⁺	18,6 ⁺⁺⁺
2-Nitrofluoren (2-NF)	10^{-4}	52,6 ⁺⁺	74,2 ⁺
2,7-Dinitrofluoren (DNF)	10^{-4}	49,1 ⁺⁺	68,4 ⁺
9-Fluorenolhydrazon (FH)	10^{-4}	51,7 ⁺⁺	53,2 ⁺
2-Aminofluoren (AF)	10^{-4}	69,2 ⁺	73,9 ⁺
N,N-Diacetyl-2-amino- fluoren (DAAF)	10^{-4}	48,1 ⁺⁺	49,6 ⁺⁺
9-Aminofluoren-Hydro- chlorid (AFH)	5×10^{-4}	0 ⁺⁺⁺	-
9-Aminofluoren-Hydro- chlorid (AFH)	10^{-4}	2,6 ⁺⁺⁺	42,0 ⁺⁺
9-Fluorenoloxim (FO)	5×10^{-4}	7,4 ⁺⁺⁺	-
9-Fluorenoloxim (FO)	10^{-4}	-	55,5 ⁺⁺
Diazofluoren (DF)	10^{-4}	40,0 ⁺⁺	64,7 ⁺
9-Fluorenol-2-carbonsäure(FC)	10^{-4}	33,8 ⁺⁺	68,6 ⁺

Die Anordnung der Wirkstoffe in der Tab. 29 erfolgte nach gewissen Verwandtschaftsbeziehungen, die sich hinsichtlich der Substitution von Nichtmetallen bzw. funktionellen Gruppen an den physiologisch aktiven Zentren des Fluorenmoleküls ergaben. Infolge der niedrigen Lichtintensität reagierten die Pflanzen in den Wintermonaten, während der die Versuche durchgeführt wurden, mit besonderer Empfindlichkeit gegenüber Phytophthora infestans, obwohl mit Zusatzlicht versucht wurde, die jahreszeitlich bedingte kürzere Tagesdauer auszugleichen.

Blattbehandlungen mit Fluoren (F), Bifluoren (BF), also Substanzen ohne funktionelle Gruppen, zeigten trotz teilweiser statistischer Sicherung nur relativ schwache Wirkungen. Wurzelanwendung von F verminderte die Symptome sogar stärker als Blattspritzung.

Von den mit Nichtmetallen substituierten Derivaten seien zunächst nur 9-Fluorenon (9-F) und Thiofluorenon (TF) erwähnt. Letzteres zeigte eine deutlich befallsmindernde Wirkung bei Blattapplikation (Tab. 29). Befand sich jedoch an Stelle des Schwefel- ein Sauerstoff-Atom (9-F), so führte dies zu einem starken Wirkungsverlust. Ferner sind in diese Gruppe die Halogenderivate zu stellen. Es standen als Chlorverbindung das 9-Chlorfluoren (ClF) sowie als Bromverbindungen 2-Brom- (2-BrF) und 9-Bromfluoren (9-BrF) zur Verfügung. Interessante Unterschiede in der befallsmindernden Wirkung wurden hier durch die verschiedene Stellung des Brom-Atoms am Fluorenmolekül hervorgerufen: Während Brom in der 2-Position sowohl bei präinfektioneller Blatt- als auch Wurzelapplikation die Krautfäule sehr maßgeblich einschränkte, wurden durch 9-BrF die Befallssymptome nur unwesentlich verringert. Wirkungsvoller als 9-BrF erwies sich - wenigstens bei Blattapplikation - dagegen 9-Chlorfluoren (ClF). In diesem Zusammenhang wäre es von Interesse gewesen zu erfahren, ob durch 2-Chlorsubstitution am Fluorenkern in gleichem Maße eine Wirkungsverbesserung verursacht wird, wie sie sich bei den beiden Bromderivaten ergeben hatte, doch stand uns leider das 2-Chlorfluoren nicht zu Verfügung.

Auch 9-Hydroxyfluoren (HF), als Vertreter mit einer Hydroxylgruppe, wirkte gegen diese Blattkrankheit vor allem nach Blattapplikation. Charakteristisch für diese Substanz war, daß sich nach Ausbringung auf der Blattoberfläche ein hellgrauer Spritzbelag bildete. Wahrscheinlich verhinderte dieser HF-Belag durch direkte fungizide Einwirkung die Infektion und Ausbreitung des Pilzes.

Folgende Substanzen, deren funktionelle Gruppen Stickstoff als Zentralatom enthielten, hatten eine verhältnismäßig geringe Wirkung sowohl bei Anwendung über das Blatt als auch über die Wurzeln: Diazofluoren (DF), 2-Nitrofluoren (2-NF), 2,7-Dinitrofluoren (DNF), 2-Aminofluoren (AF), Fluorenhydrazon (FH) und N,N-Diacetyl-2-Aminofluoren. Wird allerdings zur Nitrogruppe in 2-Stellung noch ein Sauerstoff in der 9-Position des Fluoren angelagert, so steigert diese Verbindung (2-Nitrofluorenon = NF) die Widerstandsfähigkeit der Tomatenpflanzen gegen Phytophthora infestans erheblich. Noch deutlichere befallsenkende Effekte konnten durch Blattbehandlung mit 9-Fluorenoxim erzielt werden. Die eindeutigen krankheitsmindernden Wirkungen von allen geprüften Fluorenderivaten erbrachten präinfektionelle Blattapplikationen von 9-Aminofluoren-Hydrochlorid (AFH).

Eine Acetylgruppe (2-Acetylfluoren = 2-AF) oder ein Carboxylrest (9-Fluorenon-2-carbonsäure = FC) am Grundgerüst vermochten hauptsächlich im Spritzverfahren die Krankheitsausbreitung zu verringern.

Anschließend wurden die gegen Phytophthora infestans wirksamsten Präparate bei abgewandelten Applikationsterminen und Konzentrationsabstufungen eingehender auf ihren befalls-mindernden Einfluß untersucht. Die Anwendung erfolgte in diesen Experimenten stets über das Blatt. In dem in Abb. 21 dargestellten Versuch wurden die Mittel in der höheren Aufwandmenge ($5 \times 10^{-4} \text{M}$) einmal (24 Stunden) vor der Infektion appliziert. Infolge einer besonders starken Ausbreitung des Pilzes in der unbehandelten Kontrollreihe, die bis zum vollständigen Absterben der Blätter führte, traten die Un-

terschiede besonders deutlich hervor. Die Verbindungen NF, ClF und FO reduzierten auch nach einmaliger Behandlung den Befall bis zu einem gewissen Grade, wie den Indizes entnommen werden kann. Auffallend stärker allerdings wirkten, mit zunehmender Intensität, folgende Substanzen: TF, 2-BrF, HF und AFH.

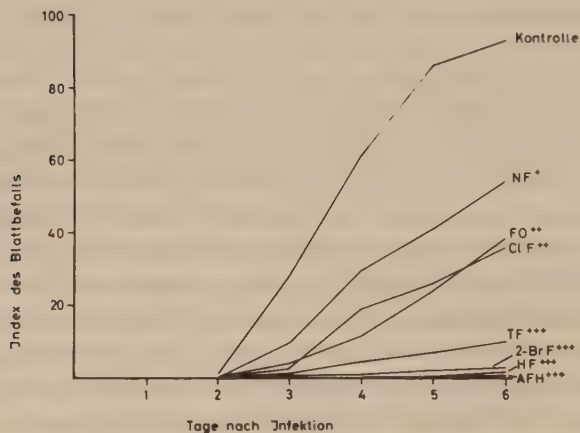


Abbildung 21: Einfluß von 9-Aminofluoren-Hydrochlorid (AFH), 2-Bromfluoren (2-BrF), 9-Chlorfluoren (ClF), 9-Hydroxyfluoren (HF), 9-Fluorenonoxim (FO), 2-Nitrofluorenon (NF) und Thiofluorenon (TF) bei einmaliger Blattapplikation (5×10^{-4} M, 24 Stunden vor der Infektion) auf den Phytophthora-Befall an Tomaten.

In den weiteren Phytophthora-Tests wurde unter Konstanthaltung der Wirkstoffkonzentration der zeitliche Abstand zwischen letzter Behandlung und nachfolgender Infektion variiert. Die Anzahl der Verbindungen wurde noch weiter reduziert, sie beschränkte sich allein auf die Mittel, die in dem zuletzt beschriebenen Versuch (Abb. 21) den Blattbefall am deutlichsten herabsetzten.

Erfolgte die Anwendung der Substanzen 4 und 2 Tage vor der Beimpfung, so vergrößerten sich die Unterschiede in der Wirkung der einzelnen Verbindungen sehr eindrucksvoll (Abb. 22).

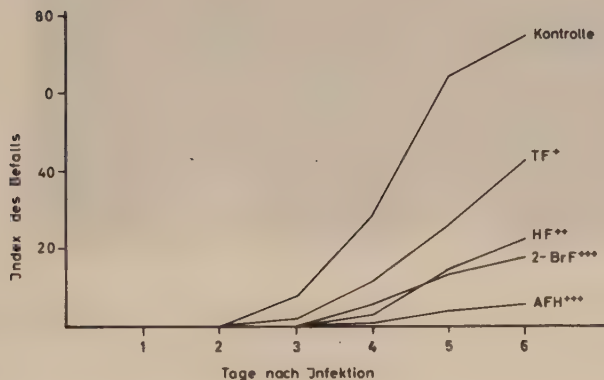


Abbildung 22: Wirkung einiger Fluorenderivate, wie 9-Amino-fluoren-Hydrochlorid (AFH), 2-Bromfluoren (2-BrF), 9-Hydroxyfluoren (HF) und Thiofluoren (TF) auf die durch Phytophthora infestans verursachte Blattkrankheit an Tomaten. Die Wirkstoffanwendung erfolgte in einer Konzentration von 5×10^{-4} M 4 und 2 Tage vor Infektion über das Blatt.

Bemerkenswert ist außerdem, daß trotz dieser erheblichen Unterschiede im Befall die Reihenfolge in der Wirksamkeit der Substanzen bestehen blieb: $AFH > 2-BrF \geq HF > TF$ (vgl. auch Abb. 23-26).

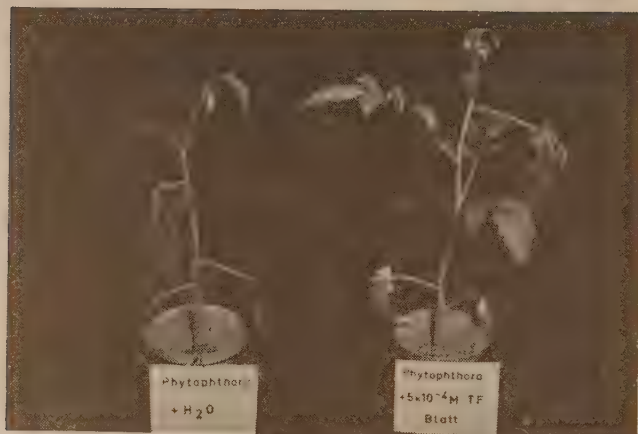


Abbildung 23

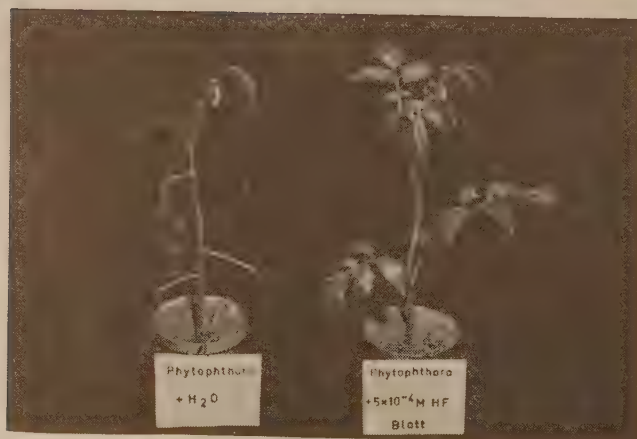


Abbildung 24



Abbildung 25



Abbildung 26

Abbildung 23-26: Einfluß von Thiofluorenon (TF), 9-Hydroxyfluoren (HF), 2-Bromfluoren (2-BrF) und 9-Aminofluoren-Hydrochlorid (APH) auf die Krautfäule an Tomaten bei Blattapplikation. Konzentration: $5 \times 10^{-4} M$; Behandlung: 5, 3 und 1 Tag vor Infektion. Links: unbehandelt - rechts: behandelt,

Bei dem in Abb. 27 dargestellten Versuch betrug die Zeitdauer zwischen letztem Applikationstermin und Infektion 4 Tage. Die Befallsausbreitung verlief während der Versuchsdauer an den infizierten Kontrollpflanzen weniger intensiv als im vorher erläuterten Versuch (Abb. 22).

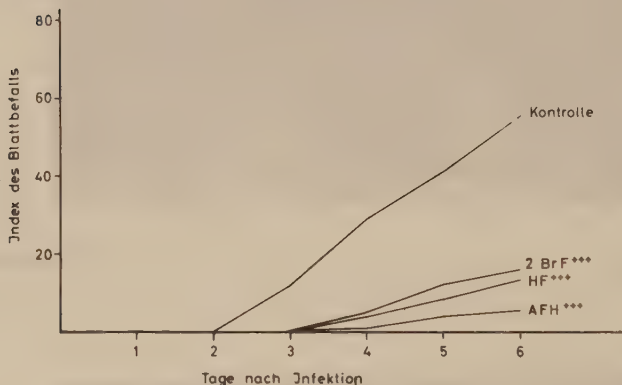


Abbildung 27: Einfluß von 9-Aminofluoren-Hydrochlorid (AFH), 9-Hydroxyfluoren (HF) und 2-Bromfluoren (2-BrF) auf die durch *Phytophthora infestans* verursachte Krautfäule an Tomaten. Die Wirkstoffe wurden in einer Konzentration von 5×10^{-4} M 8, 6 und 4 Tage vor der Infektion über das Blatt angewendet.

Die Wirkstoffe 2-BrF, HF und AFH beeinflussten auch hier das Krankheitsbild sehr drastisch, wobei mit AFH wiederum der beste Effekt erzielt wurde.

Wurde die Zeitspanne zwischen letzter Behandlung und Inokulation noch weiter auseinandergelegt, so war dies zwar mit einem abnehmenden Einfluß der Fluorenderivate auf die Krautfäule verbunden (Abb. 28), jedoch blieb auch in diesem Versuch die Reihenfolge für die Wirkungsintensität der Substanzen bestehen. Erst durch diese differenzierte Versuchsgestaltung war es möglich, die Unterschiede zwischen den be-

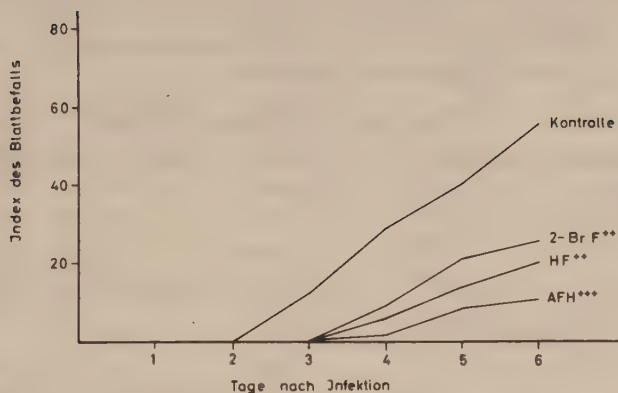


Abbildung 28: Einfluß von 9-Aminofluoren-Hydrochlorid (AFH), 9-Hydroxyfluoren (HF) und 2-Bromfluoren (2-BrF) auf den durch *Phytophthora infestans* hervorgerufenen Blattbefall an Tomaten. Die Substanzen wurden in 5×10^{-4} molarer Konzentration am 8. und 6. Tag vor Infektion auf die Blätter appliziert.

fallsreduzierenden Eigenschaften der verschiedenen Verbindungen deutlicher zum Ausdruck zu bringen.

3.3.3. Ergebnisse der Versuche in vitro

3.3.3.1. Fungitoxizitäts-Untersuchungen

3.3.3.1.1. Fusarium

Das Fluoren (F), welches sich in vivo - wenigstens bei Wurzelapplikation - ebenfalls als eine der einflußreichsten Verbindungen erwies, besitzt nach Angaben von DAVIS et al. (1954) keine direkte fungitoxische Wirkung gegenüber Fusarium. Diese Substanz fiel sowohl im Plattentest als auch im Sporentest bei Konzentrationen von $10^{-3}M$ und $10^{-4}M$ aus. Aus Tab. 30 geht aber hervor, daß durch F trotzdem ein gewisser hemmender Effekt auf das Myzelwachstum und die Konidienkeimung hervorgerufen wird, noch stärker war jedoch die Beeinträchtigung der Keimschlauchentwicklung.

Tabelle 30: Einfluß verschiedener Fluoren-Derivate auf Myzelwachstum (Czapek-Dox-Agar), Sporenkeimung und Keimschlauchentwicklung von *Fusarium oxysporum* f. *lycopersici*; Relativwerte. Inkubationstemperatur: 27°C.

↓ = Ausfällungen im Substrat

Wirkstoff	Konz. (M)	Myzelwachstum	Konidienkeimung	Keimschlauchlänge
Unbehandelt	-	100	100	100
Fluoren (F)	10 ⁻³	44,6↓	25,2↓	25,6
	10 ⁻⁴	63,3↓	65,9↓	32,6
	10 ⁻⁵	94,7	97,5	36,7
2-Bromfluoren (2-BrF)	10 ⁻³	2,0↓	0 ↓	0
	10 ⁻⁴	70,2	0	0
	10 ⁻⁵	91,9	1,1	6,2
9-Bromfluoren (9-BrF)	10 ⁻³	4,1↓	67,9↓	18,2
	10 ⁻⁴	72,7	91,6	40,9
	10 ⁻⁵	92,4	100	54,1
9-Chlorfluoren (ClF)	10 ⁻³	4,1↓	0 ↓	0
	10 ⁻⁴	70,2	75,9	28,5
	10 ⁻⁵	92,4	94,7	59,9
9-Hydroxyfluoren (HF)	10 ⁻³	6,1↓	3,2↓	2,4
	10 ⁻⁴	82,2↓	77,7↓	26,6
	10 ⁻⁵	92,0	90,6	33,3
2-Acetylfluoren (2-AF)	10 ⁻³	75,5↓	0 ↓	0
	10 ⁻⁴	85,9↓	26,9↓	10,3
	10 ⁻⁵	88,8	47,4	18,6
2-Nitrofluorenon (NF)	10 ⁻³	91,1↓	24,3↓	19,4
	10 ⁻⁴	99,5↓	40,4↓	17,7
	10 ⁻⁵	98,3	53,0	19,0
9-Fluorenon (9-F)	10 ⁻³	21,6↓	0 ↓	0
	10 ⁻⁴	37,0↓	71,4↓	19,4
	10 ⁻⁵	92,6	85,7	31,8
9-Thiofluorenon (TF)	10 ⁻³	32,8↓	54,6↓	41,1
	10 ⁻⁴	69,3	106,2	58,9
	10 ⁻⁵	90,3	103,3	77,4

Fortsetzung Tabelle 30

Wirkstoff	Konz. (M)	Myzel wachstum	Konidien- keimung	Keim- schlauch- länge
9-Fluorenonhydrazon (FH)	10^{-3}	43,5↓	0 ↓	0
	10^{-4}	83,4↓	19,6↓	21,5
	10^{-5}	90,4	79,3	24,8
2-Aminofluoren (AF)	10^{-3}	33,5↓	22,4↓	25,2
	10^{-4}	83,3↓	67,2↓	37,1
	10^{-5}	92,4	101,4	65,2
9-Aminofluoren- Hydrochlorid (AFH)	10^{-3}	84,6↓	3,1↓	9,9
	10^{-4}	106,0↓	91,7↓	25,6
	10^{-5}	101,1	94,0	59,0
N,N-Diacetyl-2-amino- fluoren (DAAF)	10^{-3}	44,7↓	68,6↓	31,4
	10^{-4}	67,4	90,9	69,5
	10^{-5}	85,4	94,5	64,3
2-Nitrofluoren (2-NF)	10^{-3}	-	101,9↓	40,0
	10^{-4}	-	101,1↓	61,4
	10^{-5}	-	102,9	76,6
9-Fluorenon-2-carbon- säure (FC)	10^{-3}	65,9↓	92,4↓	33,8
	10^{-4}	81,8↓	93,8↓	34,3
	10^{-5}	100,1	101,1	42,4
Diazofluoren (DF)	10^{-3}	-	66,2	21,4
	10^{-4}	-	96,6	54,7
	10^{-5}	-	101,4	89,5

In der Hemmung des Myzelwachstums stimmten die Halogen-
derivate des Fluorens bei entsprechenden Konzentrations-
stufen in etwa überein. Größere Unterschiede dagegen traten
zwischen diesen Verbindungen im Sporenkeimtest auf. Selbst
die niedrigste Konzentration von 2-Bromfluoren (2-BrF)
(10^{-5} M) verhinderte die Auskeimung der Fusarium-Mikrokon-
dien noch nahezu vollständig, während demgegenüber die Brom-
substitution in der Stellung 9 mit einem erheblichen Verlust
der fungiziden Wirksamkeit verbunden war. Diese nachlassende
Wirkung beschränkte sich vor allem auf die Auskeimung der

Konidien, während das Wachstum der Keimschläuche noch deutlich gehemmt wurde. 9-Chlorfluoren (ClF) wirkte insbesondere in hoher Dosierung stärker retardierend auf die Konidienkeimung als die entsprechende Bromverbindung.

9-Hydroxyfluoren (HF) beeinträchtigte das Myzelwachstum auf Czapek-Dox-Agar etwa so stark wie die Halogenverbindungen. Hinsichtlich seines Einflusses auf die Sporenauskeimung verhielt sich HF ähnlich wie ClF, die Hemmung des Keimschlauchwachstums schien allerdings bei $10^{-3}M$ HF etwas größer zu sein.

Im Gegensatz zu den bisher besprochenen Derivaten besaßen NF und 2-AF im Plattentest keine oder eine nur geringe Wirkung auf das Pilzwachstum. Die Auskeimung der Konidien wurde indessen durch beide Substanzen noch in der schwächsten Konzentration ($10^{-5}M$) um rund 50% herabgesetzt, und die Keimschläuche blieben sogar um etwa 80% kürzer. Die verhältnismäßig geringe Wirkung in den stärkeren Konzentrationen läßt sich wahrscheinlich auf Ausfällungen von 2-AF und NF in den wäßrigen Konidiensuspensionen zurückführen.

Von den Verbindungen, die in Untersuchungen an Tomatenpflanzen die Fusarium-Welke noch relativ stark reduzierten, zeigte 9-fluorenon (9-F) ($10^{-3}M$ und $10^{-4}M$) im Plattentest eine stärkere Wirkung als 9-Fluorenonhydrazon (FH). Hinsichtlich der Konidienkeimung ging von FH ein größerer Einfluß aus, die Keimschlauchlänge wiederum reduzierten FH und 9-F etwa gleich stark.

Wie die Ergebnisse der in vitro-Untersuchungen deutlich machen, kann die eindrucksvolle welkemindernde Wirkung einiger Fluoren-Derivate nicht in allen Fällen auf deren fungiziden bzw. fungistatischen Einfluß gegen Fusarium zurückgeführt werden. Es wurden daher die Blutungssäfte von behandelten und unbehandelten, nichtinfizierten Pflanzen gesammelt und auf ihre fungistatischen Eigenschaften im Sporenkeimtest untersucht. Die eindeutigste Hemmwirkung auf die Auskeimung der Konidien und auf das Wachstum der Keimschläuche bewirkten die Blutungssäfte

der Pflanzen, die mit dem Wirkstoff FH behandelt worden waren (Tab. 31).

Tabelle 31: Einfluß der Exsudate von Tomatenpflanzen, denen verschiedene Fluoren-Derivate ($5 \times 10^{-4}M$) über die Wurzeln appliziert worden waren, auf die Sporenkeimung und das Wachstum der Keimschläuche von Fusarium oxysporum f. lycopersici.
Inkubationsdauer: 7,5 Std.; Temperatur: 27°C.

Wirkstoff	Sporenkeimung		Keimschlauch-	
	Prozent	rel.	länge in μ	
			abs.	rel.
Unbehandelt	94,6	100	36,8	100
Fluoren (F)	92,6	98,2	21,3	57,9
9-Hydroxyfluoren (HF)	96,0	101,7	33,7	91,6
2-Acetylfluoren (2-AF)	95,1	100,8	23,3	63,3
2-Nitrofluorenon (NF)	96,0	101,7	17,8	48,4
9-Fluorenon (9-F)	93,0	98,6	51,1	138,9
9-Thiofluorenon (TF)	98,0	103,9	48,6	132,1
9-Fluorenonhydrazon (FH)	50,0	53,0	12,8	34,8
9-Fluorenon-2-carbon- säure (FC)	97,0	102,8	39,8	108,2

Die Exsudate der mit F, NF und 2-AF behandelten Pflanzen vermochten den Anteil ausgekeimter Konidien nicht zu beeinflussen, reduzierten jedoch die Wachstumsintensität der Keimschläuche. Die Blutungssäfte der Pflanzen, die mit den übrigen Derivaten behandelt wurden, steigerten sogar das Längenwachstum der Keimhyphen, obgleich auch diese Verbindungen in vivo die Fusarium-Welke zum Teil mehr oder weniger stark unterdrückten.

3.3.3.1.2. Verticillium

Ähnlich wie bei Fusarium wurden auch mit Verticillium albo-atrum Untersuchungen in vitro durchgeführt, um Aussagen über die unmittelbaren antimykotischen Eigenschaften der Fluoren-Derivate gegenüber diesem Pilz machen zu können (Tab. 32). Sämtliche Halogenderivate sowie HF unterdrückten im Plattentest bei einer Wirkstoffkonzentration von $10^{-3}M$ das Myzelwachstum fast vollkommen. Bei $10^{-4}M$ ver-

minderten die oben genannten Substanzen das Wachstum noch um 40 bis 45%. Die 3 Substanzen NF, 2-AF und F, die im Pflanzentest eine starke Hemmung des Krankheitsbefalls hervorriefen, beeinflussten dagegen das Myzelwachstum und die Auskeimung der Mikrokonidien kaum; lediglich die Wachstumsintensität der Keimschläuche reduzierten sie um 40-60%.

Tabelle 32: Einfluß von Fluoren und einigen seiner Derivate auf das Myzelwachstum (Czapek-Dox-Agar), Sporenkeimung und Keimschlauchentwicklung von Verticillium alboatrum; Relativwerte. Inkubationstemperatur: 20°C ± 1°C.

↓ = Ausfällungen im Substrat

Wirkstoff	Konz. (M)	Myzelwachstum	Konidienkeimung	Keimschlauchlänge
Unbehandelt	-	100	100	100
Fluoren (F)	10 ⁻³	78,9↓	82,6↓	53,0
	10 ⁻⁴	95,1↓	98,7↓	51,2
	10 ⁻⁵	99,7	96,0	41,0
2-Bromfluoren (2-BrF)	10 ⁻³	3,6↓	0 ↓	0
	10 ⁻⁴	56,6	43,6	19,3
	10 ⁻⁵	81,7	90,6	28,4
9-Bromfluoren (9-BrF)	10 ⁻³	3,6↓	42,3↓	8,1
	10 ⁻⁴	60,3	85,2	22,1
	10 ⁻⁵	86,4	95,3	41,1
9-Chlorfluoren (ClF)	10 ⁻³	3,6↓	32,3↓	8,1
	10 ⁻⁴	53,4	69,0	32,9
	10 ⁻⁵	80,6	95,1	49,2
9-Hydroxyfluoren (HF)	10 ⁻³	5,4↓	0 ↓	0
	10 ⁻⁴	58,8↓	29,0↓	25,8
	10 ⁻⁵	82,7	74,2	42,1
2-Acetylfluoren (2-AF)	10 ⁻³	75,5↓	95,2↓	40,0
	10 ⁻⁴	77,6↓	97,8↓	49,8
	10 ⁻⁵	93,7	96,0	57,9

Fortsetzung Tabelle 32

Wirkstoff	Konz. (M)	Myzel- wachstum	Konidien- keimung	Keimschlauch- länge
2-Nitrofluoren (NF)	10^{-3}	72,6↓	98,8↓	44,9
	10^{-4}	85,3↓	83,2↓	43,9
	10^{-5}	83,5	85,2	34,4
9-Fluoren (9-F)	10^{-3}	20,3↓	6,7↓	3,5
	10^{-4}	47,4↓	67,1↓	25,6
	10^{-5}	99,7	82,2	46,7
9-Thiofluoren (TF)	10^{-3}	58,5↓	0 ↓	0
	10^{-4}	94,4	69,9	35,9
	10^{-5}	99,0	90,7	48,8
9-Fluorenonhydra- zon (FH)	10^{-3}	30,1↓	56,4↓	13,7
	10^{-4}	74,4	69,5	17,9
	10^{-5}	85,3	78,5	18,9
2-Aminofluoren (AF)	10^{-3}	19,1↓	6,5↓	12,9
	10^{-4}	88,5↓	65,9↓	33,6
	10^{-5}	95,6	98,9	55,9
9-Aminofluoren- Hydrochlorid (AFH)	10^{-3}	93,9↓	0 ↓	0
	10^{-4}	55,5↓	63,7↓	14,7
	10^{-5}	66,7	94,0	49,8
N,N-Diacetyl-2-amino- fluoren (DAAF)	10^{-3}	36,3↓	83,1↓	54,0
	10^{-4}	59,9↓	85,5↓	56,4
	10^{-5}	76,2	98,8	57,4
9-Fluorenonoxim (FO)	10^{-3}	58,1↓	71,1↓	26,8
	10^{-4}	61,7↓	84,5↓	29,6
	10^{-5}	66,0	96,4	42,1
9-Fluorenon-2- carbonsäure (FC)	10^{-3}	103,9↓	81,9↓	55,4
	10^{-4}	99,3↓	91,7↓	68,4
	10^{-5}	103,2	101,5	71,2

Im gleichen Maße fungistatisch wie HF wirkte die Substanz 9-F bis 10^{-4} M, obwohl sie in vivo einen nur schwachen welkemindernden Einfluß besaß. Es ist daher schwierig, allein auf Grund der fungistatischen Eigenschaften einer Verbindung ih-

ren Effekt im Pflanzentest zu beurteilen. Durch die Wirkstoffe AFH, FO und DAAF wurde das Myzelwachstum auch noch in der niederen Aufwandmenge ($10^{-5}M$) mehr oder weniger stark gehemmt, während FC die Entwicklung überhaupt nicht beeinträchtigte.

Im Sporenkeimtest zeigten auch HF und 2-BrF eine hohe Fungitoxizität. Sie verhinderten die Keimung bei $10^{-3}M$ völlig, bei $10^{-4}M$ betrug der Anteil gekeimter Sporen 30 bzw. 44%. Noch deutlicher war ihr Einfluß auf die Keimschlauchlänge, die bei $10^{-4}M$ um 75-80% reduziert wurde; auch bei $10^{-5}M$ war die Hemmung noch sehr stark (60-70%). Obwohl die beiden Halogenderivate ClF und 9-BrF die Konidienkeimung weniger beeinflussten, war ihre Wirkung auf die Keimschlauchentwicklung ebenso eindeutig wie die von 2-BrF und HF. Besonders starke Wirkung im Sporenkeimtest ging von TF, AFH und 9-F aus. Diese Substanzen verringerten nicht nur den Anteil ausgekeimter Konidien erheblich, sondern auch deren Keimschlauchlänge. Auffallend stark verminderte FH das Wachstum der Keimschläuche in allen Konzentrationsstufen, dagegen war die Wirkung dieser Verbindung auf die Konidienkeimung gering.

Tabelle 33: Einfluß der Exsudate von Tomatenpflanzen, denen verschiedene Fluoren-Derivate ($5 \times 10^{-4}M$) über die Wurzeln appliziert worden waren, auf die Sporenkeimung und das Wachstum der Keimschläuche von Verticillium albo-atrum. Inkubationsdauer: 17 Std.; Temperatur: $20^{\circ}C \pm 1^{\circ}C$.

Wirkstoff	Sporenkeimung		Keimschlauchlänge	
	Prozent	rel.	abs. in μ	rel.
Unbehandelt	83,7	100	48,2	100
Fluoren (F)	91,3	109,0	50,3	104,3
9-Hydroxyfluoren (HF)	91,0	108,6	52,3	108,5
2-Acetylfluoren (2-AF)	90,0	107,4	57,6	119,4
2-Nitrofluorenon (NF)	93,5	111,8	53,1	110,1
9-Fluorenonhydrazon (FH)	87,3	104,2	36,4	75,5
9-Thiofluorenon (TF)	88,0	105,0	52,1	108,0
9-Fluorenon-2-carbonsäure (FC)	88,6	105,7	58,3	120,9

Die Blutungssäfte behandelter Pflanzen beeinflussten die Sporenkeimung und die Keimschlauchentwicklung von Verticillium nicht negativ, vielmehr traten sehr beträchtliche Förderungen auf (Tab. 33). Lediglich die Exsudate von FH-behandelten Pflanzen reduzierten die Keimschlauchlänge um rund 25%.

3.3.3.1.3. Phytophthora

Zunächst wurde der Einfluß der in vivo wirksamsten Substanzen auf das Myzelwachstum von Phytophthora infestans im Plattentest auf Erbsenagar getestet. Aus den Ergebnissen der Tab. 34 ist ersichtlich, daß einige Wirkstoffe in der höchsten Aufwandmenge (10^{-3} M) eine ausgesprochen starke fungistatische Wirkung besitzen. Vor allem die Verbindungen 2-Bromfluoren (2-BrF), 9-Hydroxyfluoren (HF), 9-Thiofluorenon (TF) und 9-Chlorfluoren (ClF) hemmen das Pilzwachstum vollkommen, während 9-Aminofluoren-Hydrochlorid (AFH) in dieser Konzentration den Zuwachs an Myzel sehr stark retardiert. Eine so hohe Dosierung war jedoch in den Untersuchungen an Tomatenpflanzen wegen zu hoher Phytotoxizität nicht angewendet worden. Bei einer um eine Zehnerpotenz schwächeren Aufwandmenge (10^{-4} M) zeigte der Pilz immerhin ein um etwa 40% geringeres Wachstum im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. Die übrigen Derivate vermochten bei dieser Wirkstoffmenge die Wachstumsgeschwindigkeit nicht oder nur schwach zu vermindern. Einige Substanzen, wie 9-Fluorennoxim (FO) und 2-Nitrofluorenon (NF) waren teilweise im Nährboden ausgefallen. Entsprechend den Versuchen mit Tomatenpflanzen hemmte 9-Bromfluoren die Myzelausbreitung von Phytophthora auf dem Nährboden weniger als 2-Bromfluoren.

Tabelle 34: Einfluß einiger Fluoren-Derivate auf das Wachstum von Phytophthora infestans auf Erbsen-Agar und in einer Nährlösung; Relativwerte.

↓ = Ausfällungen der Wirkstoffe im Nährsubstrat

Wirkstoff	Konz. (M)	Erbsen-Agar	Nährlösung
Unbehandelt	-	100	100
2-Bromfluoren (2-BrF)	10^{-3}	0 ↓	34,3 ↓
	10^{-4}	57,1	63,2 ↓
	10^{-5}	116,1	72,9
9-Bromfluoren (9-BrF)	10^{-3}	35,2 ↓	96,0 ↓
	10^{-4}	76,2	102,6 ↓
	10^{-5}	92,4	89,8
9-Chlorfluoren (ClF)	10^{-3}	0 ↓	39,7 ↓
	10^{-4}	81,8	72,7 ↓
	10^{-5}	85,3	75,7
9-Hydroxyfluoren (HF)	10^{-3}	0 ↓	25,3 ↓
	10^{-4}	60,6	65,4
	10^{-5}	98,4	79,0
2-Nitrofluorenon (NF)	10^{-3}	80,3 ↓	85,5 ↓
	10^{-4}	83,3 ↓	78,3 ↓
	10^{-5}	94,9	90,1
9-Thiofluorenon (TF)	10^{-3}	0 ↓	13,1 ↓
	10^{-4}	99,5	39,0
	10^{-5}	105,2	77,6
9-Aminofluoren-Hydrochlorid (AFH)	10^{-3}	7,6 ↓	35,4 ↓
	10^{-4}	107,5	69,2
	10^{-5}	110,1	66,8
9-Fluorenonoxim (FO)	10^{-3}	78,8 ↓	53,7 ↓
	10^{-4}	78,3 ↓	56,2 ↓
	10^{-5}	80,0	59,3

Um möglicherweise feinere Unterschiede in der fungitoxischen Wirkung der einzelnen Substanzen zu erkennen, wurde der Pilz auf flüssigem Nährmedium, das die Wirkstoffe in den gleichen Konzentrationen enthielt (10^{-3}M , 10^{-4}M , 10^{-5}M), kultiviert (Tab. 34). In den Versuchsreihen mit den höchsten Konzentrationsstufen (10^{-3}M und 10^{-4}M) kam es bei allen Substanzen zu Ausfällungen. Deutlichere Hemmwirkungen auf die Myzelentwicklung im Vergleich zum Plattentest waren vor allem bei den mittleren und schwächeren Konzentrationen festzustellen. Die Derivate AFH, 2-BrF, HF und FO (alle 10^{-4}M) verringerten das Myzelgewicht um 35-43%, die entsprechende TF-Lösung sogar um 60%. Auch die niedrigste Konzentration (10^{-5}M) von AFH, FO und ClF beeinträchtigte den Myzelzuwachs fast ebenso deutlich wie die nächst höhere Stufe. Die Wirkstoffe 9-BrF und NF beeinflussten das Myzelwachstum nicht nennenswert.

Tabelle 35: Einfluß einiger Fluoren-Derivate auf die Zoosporenkeimung von Phytophthora infestans.

Inkubationsdauer: 18 Std.; Temperatur: 12°C .

Wirkstoff	Konz. (M)	Anteil gekeimter Zoosporen		Keimschlauchlänge in μ	
		Proz.-werte	rel.	abs.	rel.
Unbehandelt	-	95,6	100	43,2	100
2-Bromfluoren (2-BrF)	10^{-3}	0	0	0	0
	10^{-4}	71,0	74,3	16,4	37,9
	10^{-5}	86,3	90,2	19,6	45,3
9-Hydroxyfluoren (HF)	10^{-3}	1,4	1,5	5,2	12,1
	10^{-4}	79,0	82,6	23,6	54,6
	10^{-5}	85,3	89,2	44,8	103,7
Thiofluorenon (TF)	10^{-3}	0	0	0	0
	10^{-4}	3	3,1	10,8	25,0
	10^{-5}	82,4	86,2	23,6	54,6
9-Aminofluoren-Hydrochlorid (AFH)	10^{-3}	0	0	0	0
	10^{-4}	50,0	52,3	15,6	36,1
	10^{-5}	85,5	89,4	21,2	49,0

In einem zusätzlichen Versuch wurden die Wirkstoffe auf ihre Fungitoxizität im Zoosporenkeimtest geprüft. Wie aus Tab. 35 hervorgeht, reduzierten die Substanzen sowohl den Anteil aus-

gekeimter Zoosporen als auch deren Keimschlauchlänge. Obwohl auch hier die Präparate in der höchsten Konzentrationsstufe ausfielen, verhinderten sie nicht nur das Auskeimen, sondern veränderten auch die glatte, runde Form der Zoosporen. Es traten mehr oder weniger stark Schrumpfungsercheinungen auf, die schließlich sehr häufig zum völligen Zerfall der Zoosporen führten. Besonders auffallend wurden diese Lysiserscheinungen durch TF, sogar noch bei 10^{-4}M , hervorgerufen. Dagegen reagierten die Zoosporen unter dem Einfluß der höchsten Aufwandmenge von HF mit nur geringen Schrumpfungs- und Lysisvorgängen. Bei 10^{-4}M traten größere Unterschiede zwischen den einzelnen Wirkstoffen zu Tage. Während TF die Zoosporenkeimung und Keimhyphenentwicklung am stärksten hemmte (97 bzw. 75%), setzte AFH den Anteil gekeimter Zoosporen und die Keimschlauchlänge nur um 50% bzw. 64% herab. Die Verbindungen 2-BrF und HF hinderten in dieser Molarität weniger die Auskeimung der Zoosporen als vielmehr die Wachstumsintensität der Keimschläuche. In der niedrigsten Dosierung (10^{-5}M) verursachten die Derivate TF, 2-BrF und AFH noch eine recht deutliche Reduktion des Längenwachstums der Keimschläuche, während ihr Einfluß auf die Keimungshäufigkeit sehr stark zurückging.

Auch diese Ergebnisse zeigen, daß die Fluoren-Derivate im allgemeinen die Keimschlauchentwicklung stärker hemmen als die Keimungsrate, ausgedrückt als Prozentsatz gekeimter Sporen.

3.3.3.2. Peroxydase- und Polyphenoloxydase-Aktivität

Beispielsweise verursachte Thiofluorenon (TF) in den in vitro-Untersuchungen z.T. stärkere Hemmungen als 9-Aminofluoren-Hydrochlorid (AFH), andererseits aber erwies sich gerade AFH der Verbindung TF im Pflanzentest überlegen. Es war daher fraglich, ob die starke Befallsminderung durch AFH an Phytophthora-infizierten Tomatenpflanzen befriedigend durch die fungistatischen bzw. fungitoxischen Einflüsse dieser Substanz erklärt werden kann, insbesondere wenn man die Befallsreduktion, die durch 10^{-4}M AFH verursacht wird (vgl. Tab. 29),

mit den entsprechenden Ergebnissen aus den Fungitoxizitätsprüfungen vergleicht.

Es wurde daher versucht, den Wirkungsmechanismus näher aufzuklären, indem zu verschiedenen Terminen während der Versuchsdauer die Peroxydase-Aktivitäten in Blattextrakten der einzelnen Versuchsglieder bestimmt wurden.

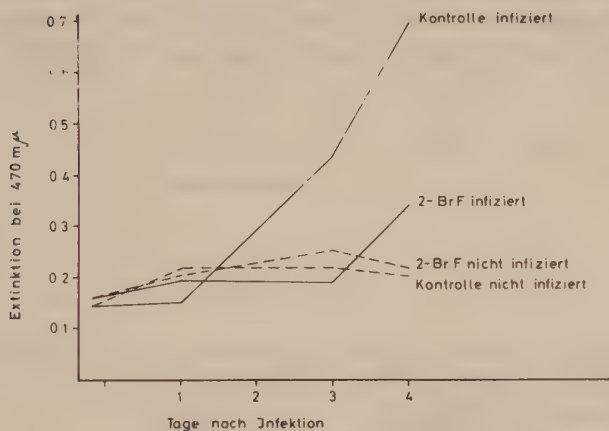


Abbildung 29: Einfluß von 2-Bromfluoren (2-BrF) auf die Peroxydase-Aktivität von Tomatenblättern, teilweise infiziert mit *Phytophthora infestans*. Konzentration: $5 \times 10^{-4} M$; Blattapplikation: 5, 3 und 1 Tag vor der Infektion.

Aus Abb. 29 wird ersichtlich, welche Änderungen in der Peroxydase-Aktivität während der Versuchszeit in den unbehandelten und infizierten Kontrollreihen einerseits und in den zusätzlich mit 2-Bromfluoren (2-BrF) behandelten Versuchsgliedern andererseits eintraten. Einen Tag nach der Beimpfung erhöhte sich die Enzymaktivität in den Blättern der nicht-infizierten Kontrollpflanzen leicht, um dann für die übrige Versuchszeit auf diesem Niveau zu bleiben. Dagegen stieg die Peroxydase-Aktivität in den infizierten Tomatenblättern mit zunehmender Inkubationsdauer ständig an. Die Sub-

stanz 2-BrF wirkte kaum verändernd auf die Enzymaktivität, wie der Extinktionswert vor der Infektion zeigt. Im weiteren Versuchsablauf erhöhte sich in den Blättern der behandelten, nichtinfizierten Pflanzen die Aktivität nur schwach; in den infizierten Tomatenblättern änderte sie sich bis zum 3. Tag nicht, aber auf Grund einer schwachen Befallsausbreitung erfolgte danach ein leichter Anstieg. Eine ähnliche Wirkung wie 2-BrF hatte auch 9-Hydroxyfluoren (HF).

Demgegenüber steigerte eine 9-Thiofluorenon (TF)-Blattapplikation die Peroxydaseaktivität in den Blättern der Tomatenpflanzen bereits zum Zeitpunkt unmittelbar vor Infektion leicht (Abb. 30).

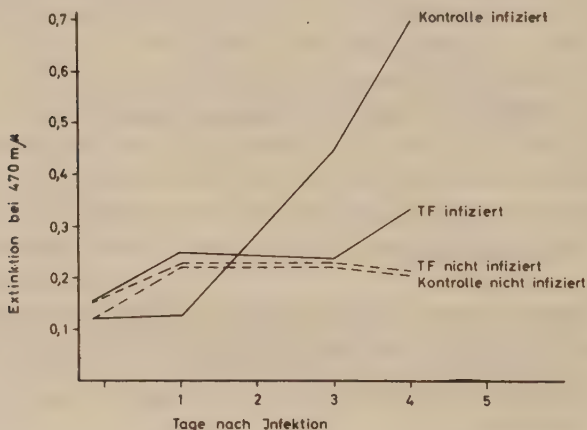


Abbildung 30: Einfluß von Thiofluorenon (TF) auf die Peroxydase-Aktivität von Tomatenblättern nach Inokulation mit *Phytophthora infestans*. Konzentration: $5 \times 10^{-4} M$; Blattbehandlung: 5, 3 und 1 Tag vor der Infektion.

Die Aktivität in den beiden behandelten Versuchsgliedern erhöhte sich einen Tag nach der Inokulation, verlief dann in enger Parallelität oberhalb der Kurve der unbehandelten Kontrolle. Infolge eines leichten Befalls erhöhte sich auch in den Blättern der infizierten, TF-besprühten Pflanzen die Enzymaktivität gegen Ende des Versuches.

Den deutlichsten Einfluß auf die Peroxydase-Aktivität hatte eine Behandlung mit 9-Aminofluoren-Hydrochlorid (AFH) (Abb. 31).

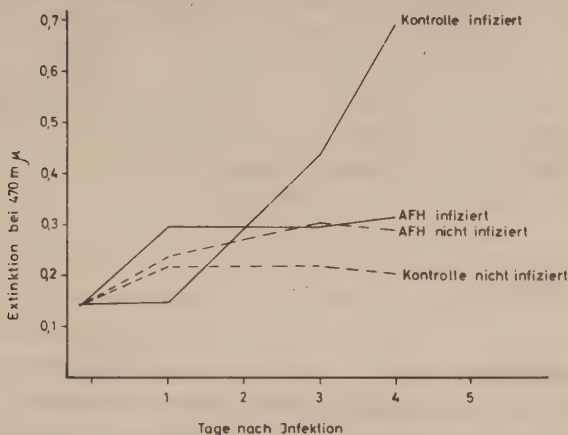


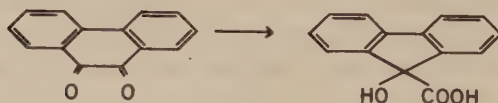
Abbildung 31: Einfluß von 9-Aminofluoren-Hydrochlorid (AFH) auf die Peroxydase-Aktivität von Tomatenblättern nach Inokulation mit *Phytophthora infestans*. Konzentration: $5 \times 10^{-4} \text{M}$; Blattbehandlung: 5, 3 und 1 Tag vor der Infektion.

Während zum Zeitpunkt vor der Infektion noch keine Änderungen in der Peroxydase-Aktivität festgestellt werden konnten, induzierte AFH zum nächstfolgenden Untersuchungstermin besonders in den Blättern des behandelten und infizierten Versuchsgliedes eine erhebliche Zunahme der Peroxydase-Aktivität. Der Extinktionswert war etwa doppelt so groß wie der von den infizierten Kontrollpflanzen. Diese hohe Aktivität blieb dann in dieser Versuchsreihe bis zum Versuchsende unverändert. Etwas anders verhielten sich die mit diesem Wirkstoff behandelten, aber nichtinfizierten Pflanzen. Die Enzymaktivität stieg hier langsamer und nahezu kontinuierlich im Laufe der Untersuchungsperiode ungefähr auf die gleiche Höhe wie in den infizierten, AFH-behandelten Tomatenblättern. Demgegenüber wurde die Polyphenoloxydase-Aktivität in den Blättern der Tomatenpflanzen von keinem der untersuchten Wirkstoffe beeinflusst.

3.4. Versuche mit Phenanthrenderivaten

3.4.1. Einführung

Die Diphenylenglykolsäure, identisch mit der Ausgangssubstanz der Morphaktine (9-Hydroxyfluoren-9-carbonsäure), läßt sich durch Benzilsäureumlagerung in alkalischer Lösung aus Phenanthrenchinon gewinnen (FIESER und FIESER 1960).



Nach McNEW und BURCHFIELD (1951) besitzt Phenanthrenchinon gegenüber Stemphylium sarcinaeforme eine höhere Toxizität als gegenüber Monilia fructicola, weil vermutlich die Fettsäurebestandteile der Membranen von Monilia mehr Sterole enthalten als die Fette von Stemphylium. Die biologische Aktivität von Phenanthrenchinon beruht wahrscheinlich auf der Fähigkeit mit den Disulfid-Brücken der Proteine oder den Thiol-Gruppen Redoxreaktionen einzugehen (BURCHFIELD und STORR 1969). Ferner besitzen nach HORSFALL und RICH (1953) Fluoren und Phenanthren einen weitgehend ähnlichen Wirkungsmechanismus in der Beeinflussung der Sporenkeimung von Monilia fructicola. Beide Substanzen vermindern das Hyphenwachstum dieses Pilzes, ohne die Konidienkeimung zu beeinträchtigen. Die Autoren nehmen an, daß es sich bei diesen Verbindungen um Wirkstoffe handelt, die die Mitose und somit das Wachstum hemmen. Andererseits wurde festgestellt, daß gewisse Phenanthrenderivate das Pilzwachstum nicht beeinflussen, dagegen aber die Sporenbildung verhindern. Sie werden als Antisporulantien bezeichnet (HORSFALL 1956, GRÜNZEL 1967). GÄUMANN et al. (1950) und GÄUMANN (1963/64) konnten nachweisen, daß gewisse Orchideen imstande sind, auf Infektion mit bodenbürtigen Krankheitserregern mit einer

chemischen Abwehr zu reagieren. Es handelt sich hierbei um das Phytoalexin Orchinol, ein 9,10-Dihydro-2,4-dimethoxy-6(oder 7)-Hydroxyphenanthren.

In unseren Untersuchungen mit Phenanthrenderivaten zeigte sich, daß bei mehreren Wurzelapplikationen lediglich das 9,10-Phenanthrenchinon das Längenwachstum der Tomatenpflanzen erheblich fördern kann (Tab. 36 u. Abb. 32).

Tabelle 36: Die in den Untersuchungen verwendeten Phenanthren-Derivate, ihre Herkunft und Reinheit sowie ihr Einfluß auf das Längenwachstum von Tomaten bei mehrmaliger Wurzelapplikation (Konzentration: $10^{-4}M$).

Wirkstoff	Abkürzung	Herkunft	Reinheit	Sproßlänge	
				abs.	rel.
Unbehandelt				64,7	100
Phenanthren	(P)	EGA ¹⁾	98-99%	67,0	103,5
2-Acetylphenanthren	(2-AP)	EGA	-	71,7	110,7
3-Acetylphenanthren	(3-AP)	EGA	-	65,7	101,5
9-Cyanphenanthren	(CP)	EGA	-	69,8	107,8
1-Methylphenanthren	(MP)	EGA	98%	55,7	86,0
1,2,3,4,5,6,7,8-Octahydrophenanthren	(OHP)	EGA	97-98%	53,2	82,2
Phenanthren-9-aldehyd	(PA)	EGA	-	73,8	114,0
9,10-Phenanthrenchinon	(PC)	EGA	ca.98%	92,2	142,4

1) EGA-Chemie KG., Steinheim bei Heidenheim/Brenz

3.4.2. Ergebnisse der Versuche in vivo

3.4.2.1. Fusarium

Tab. 37 zeigt die Ergebnisse eines Versuchs, in dem die Verbindungen 4 und 2 Tage vor der Inokulation mit Fusarium über die Wurzeln appliziert wurden. Pflanzen, die mit 1,2,3,4,5, 6,7,8-Octahydrophenanthren (OHP) und 1-Methylphenanthren (MP) behandelt wurden, wiesen keine Welkesymptome auf. Annähernd gleiche Wirkung hatte 3-Acetylphenanthren (3-AP). Etwas schwächer, aber immerhin doch sehr deutlich, verringerten 9,10-Phenanthrenchinon (PC), Cyanphenanthren (CP)

Tabelle 37: Einfluß einiger Phenanthren-Derivate auf die durch *Fusarium* an Tomatenpflanzen hervorgerufenen Welkeerscheinungen und Gefäßbräunungen bei präinfektioneller Wurzelapplikation.

Konzentration: 10^{-4} M; Behandlung: 4 und 2 Tage vor der Infektion.

Wirkstoff	Welkeerscheinungen Gefäßbräunungen			
	14 Tg.p.I. Index	21 Tg.p.I. Index	21 Tg. p.I. Stat. Sich.	21 Tg. p.I. Stat. Sich.
<u>Infiziert:</u>				
Unbehandelt	34,2	97,8		95,0
Phenanthren (P)	7,5	14,6	+++	26,8 ++
3-Acetylphenanthren (3-AP)	0	2,4	+++	23,3 +++
9-Cyanphenanthren (CP)	5,6	8,1	+++	36,5 ++
1-Methylphenanthren (MP)	0	0,5	+++	14,1 +++
1,2,3,4,5,6,7,8-Octa- hydrophenanthren (OHP)	0	0,5	+++	2,0 +++
9,10-Phenanthrenchinon (PC)	4,6	8,9	+++	30,9 ++
<u>Nicht infiziert:</u>				
Unbehandelt	0	0,7		0
Phenanthren	0	0		0
3-Acetylphenanthren	0	0,5		0
9-Cyanphenanthren	2,1	1,8		0
1-Methylphenanthren	0	0,2		0
1,2,3,4,5,6,7,8-Octa- hydrophenanthren	0	0,3		0
9,10-Phenanthrenchinon	4,3	5,6		0

sowie Phenanthren (P) die Welkeerscheinungen. Die Gefäßbräunungen wurden gleichfalls durch alle Verbindungen in unterschiedlicher Stärke herabgesetzt, wobei lediglich drei OHP-behandelte Pflanzen an einem oder zwei Gefäßbündeln in den untersten Internodien leichte Verfärbungen aufwiesen. Bei den übrigen drei Pflanzen dieses Versuchsgliedes war auch an der Stengelbasis keine Xylemverbräunung feststellbar. MP und 3-AP wirkten nicht so stark auf die Gefäßbräunung wie OHP, obwohl sie die Welkesymptome ebenso deutlich verminderten.

In einem weiteren Versuch (Tab. 35) wurden die Tomatenpflanzen mit z.T. schwächeren Konzentrationen vorbehandelt. Ganz eindeutig geht aus den Ergebnissen hervor, daß die Substanzen OHP, 3-AP und MP auch in niedrigerer Dosierung ($5 \times 10^{-5}M$) die Symptome unterdrücken. Größere Unterschiede ergaben sich allerdings bei Auswertung der Gefäßbräunungen. Auffallend war auch hier der äußerst niedrige Index bei der mit $5 \times 10^{-5}M$ OHP behandelten, infizierten Versuchsreihe. Bei dreimaliger präinfektioneller Behandlung (Tab. 36) mit den verschiedenen Phenanthren-Derivaten wurden sowohl die Welkeerscheinungen als auch die Gefäßbräunungen allgemein stärker reduziert als bei zweimaliger (Tab. 37).

Tabelle 33: Einfluß präinfektioneller Wurzelapplikation verschiedener Phenanthren-Derivate auf die Fusariose an Tomaten.

Behandlung: 6, 4 und 2 Tage vor der Infektion.

Wirkstoff	Konz. (M)	Welkeerscheinungen		Gefäßbräunungen	
		21 Tg. p.I. Index	Stat. Sich.	21 Tg. p.I. Index	Stat. Sich.
<u>Infiziert:</u>					
Unbehandelt	-	89,2		92,9	
Phenanthren (P)	10 ⁻⁴	6,7	+++	23,2	+++
2-Acetylphenan- thren (2-AP)	10 ⁻⁴	3,2	+++	31,9	++
3-Acetylphenan- thren (3-AP)	10 ⁻⁴	0	+++	6,6	+++
9-Cyanphenan- thren (CP)	10 ⁻⁴	1,9	+++	13,7	+++
1,2,3,4,5,6,7,8- Octahydrophenan- thren (OHP)	10 ⁻⁴	0	+++	1,6	+++
9,10-Phenanthren- chinon (PC)	10 ⁻⁴	9,6	+++	12,0	+++
3-Acetylphenan- thren (3-AP)	5x10 ⁻⁵	0	+++	15,7	+++
1-Methylphenan- thren (MP)	5x10 ⁻⁵	0,6	+++	22,2	+++
1,2,3,4,5,6,7,8- Octahydrophenan- thren (OHP)	5x10 ⁻⁵	0	+++	2,8	+++

Fortsetzung Tabelle 38

Wirkstoff	Konz. (M)	Konz. Welkeerscheinungen		Gefäßbräunungen	
		21 Tg.	p.I.	21 Tg.	p.I.
		Index	Stat. Sich.	Index	Stat. Sich.

Nicht infiziert:

Unbehandelt		0		0	
Phenanthren	10^{-4}	0,3		0	
2-Acetylphenanthren	10^{-4}	3,2		6,3	
3-Acetylphenanthren	10^{-4}	0		0	
9-Cyanphenanthren	10^{-4}	1,1		0	
1,2,3,4,5,6,7,8-Octahydrophenanthren	10^{-4}	0		0	
9,10-Phenanthrenchinon	10^{-4}	4,9		0	
3-Acetylphenanthren	5×10^{-5}	0		0	
1-Methylphenanthren	5×10^{-5}	0		0	
1,2,3,4,5,6,7,8-Octahydrophenanthren	5×10^{-5}	0		0	

Die bereits besprochenen Versuchsergebnisse legten nahe, diese Verbindungen auch auf ihre postinfektionelle Wirkung gegen die Fusarium-Welke zu untersuchen. Wie aus Tab. 39 hervorgeht, reduzierten die Phenanthrenderivate die Fusarium-Welke an Tomaten zunächst sehr erheblich, im weiteren Krankheitsverlauf machten sich bis zur endgültigen Auswertung (26. Tag) wesentliche Wirkungsunterschiede zwischen den einzelnen Verbindungen bemerkbar, die gut bzw. sehr gut gesichert werden konnten. Auch in diesem Fall wurde die stärkste Welkeminderung durch Behandlung mit den Substanzen OHP, MP und 3-AP erreicht. Auffallend war, daß die mit MP, OHP und in schwächerem Maße die mit 3-AP behandelten Pflanzen nach Absetzen der Behandlungen zunächst mit gewissen Erschlaffungserscheinungen reagierten, sich aber bald danach erholten und mit voller Turgeszenz weiterwuchsen. Einen wesentlich geringeren Einfluß besaßen die Wirkstoffe auf die Gefäßbräunungen. Die Verbindung OHP verringerte die Xylembräune auch in diesem Versuch am deutlichsten.

Tabelle 39: Einfluß verschiedener Phenanthren-Derivate auf die durch Fusarium hervorgerufenen Welkeerscheinungen und Gefäßbräunungen bei postinfektioneller Wurzelanwendung. Konzentration: 10^{-4} M; Behandlung: 2, 4 und 6 Tage nach der Infektion.

Wirkstoff	Welkeerscheinungen		Gefäßbräunungen	
	21 Tg.p.I. Index	26 Tg.p.I. Index	26 Tg. p.I. Stat. Sich.	26 Tg. p.I. Stat. Sich.
<u>Infiziert:</u>				
Unbehandelt	72,9	88,2		95,3
Phenanthren (P)	16,3	43,5	++	73,1 +
2-Acetylphenanthren (2-AP)	24,6	46,2	++	78,4 -
3-Acetylphenanthren (3-AP)	2,8	6,3	+++	42,7 ++
9-Cyanphenanthren (CP)	5,7	13,8	+++	50,0 +
1-Methylphenanthren (MP)	2,5	5,9	+++	31,5 ++
1,2,3,4,5,6,7,8-Octa- hydrophenanthren (OHP)	0	0,3	+++	7,6 +++
Phenanthren-9-aldehyd (PA)	23,8	42,1	++	-
9,10-Phenanthren- chinon (PC)	14,6	28,7	++	54,2 +
<u>Nicht infiziert:</u>				
Unbehandelt	0	2,3		0
Phenanthren	1,6	2,0		0
2-Acetylphenanthren	3,9	3,1		0
3-Acetylphenanthren	0,4	0		0
9-Cyanphenanthren	2,5	3,5		0
1-Methylphenanthren	0,6	0		0
1,2,3,4,5,6,7,8-Octa- hydrophenanthren	0,9	0		0
Phenanthren-9-aldehyd	3,7	2,8		0
9,10-Phenanthrenchinon	4,3	5,7		0

In dieser Versuchsanstellung wurden ferner einige Phenanthrenabkömmlinge in niedrigerer Konzentration (5×10^{-5} M) verwendet. Die Ergebnisse sind in Tab. 40 wiedergegeben. Nur 3-AP vermochte die Krankheitserscheinungen auch noch bei geringerer Aufwandmenge wesentlich zu beeinflussen. OHP und MP wurden in diesem Versuch nicht verwendet.

Tabelle 40: Wirkung einiger Phenanthren-Derivate auf die durch Fusarium an Tomaten hervorgerufenen Krankheitssymptome bei postinfektioneller Wurzelbehandlung. Konzentration: 5×10^{-5} M; Behandlung: 2, 4 und 6 Tage nach der Infektion.

Wirkstoff	Welkeerscheinungen			Gefäßbräunungen		
	26 Tg. p.I.			26 Tg. p.I.		
	Index	rel. Stat. Sich.		Index	rel. Stat. Sich.	
<u>Infiziert:</u>						
Unbehandelt	86,1	100		94,2	100	
Phenanthren (P)	50,6	58,7	+	82,3	87,3	-
3-Acetylphenanthren (3-AP)	22,7	26,3	++	70,6	74,9	-
Phenanthren-9-aldehyd (PA)	65,8	76,4	-	83,3	88,8	-
9,10-Phenanthren-chinon (PC)	54,3	63,0	+	88,4	93,8	-
<u>Nicht infiziert:</u>						
Unbehandelt	0	0		0	0	
Phenanthren	0	0		0	0	
3-Acetylphenanthren	0	0		0	0	
Phenanthren-9-aldehyd	0,5	0,6		0	0	
9,10-Phenanthren-chinon	0,9	1,0		0	0	

Ergänzend seien noch die Ergebnisse eines Versuchs wiedergegeben, in dem die Verbindungen 3-AP, MP und OHP am 2. Tag nach der Infektion in 10^{-4} molarer Lösung über die Wurzeln zugeführt wurden. Auch in diesem Versuch reagierten die Pflanzen nach der Behandlung mit verhältnismäßig starken Erschlaffungen, von denen sie sich aber nach einigen Tagen wieder erholt hatten. 21 Tage nach Infektion betrugen die Indizes der Welkeerscheinungen für: Kontrolle = 89,2; 3-AP = 2,0⁺⁺⁺; MP = 0⁺⁺⁺; OHP = 0⁺⁺⁺. Die Gefäßbräunungen wurden folgendermaßen beeinflusst: Kontrolle = 92,9; 3-AP = 20,5⁺⁺⁺; MP = 3,9⁺⁺⁺; OHP = 0⁺⁺⁺.

Behandlungen mit OHP, MP und 3-AP vor und nach der Infektion ergaben gleichfalls völlige Befallsfreiheit, sowohl hinsichtlich der äußeren Welkesymptome als auch der Gefäßbräunung (Tab. 41). Die übrigen Verbindungen unterdrückten zwar das Krankheitsbild sehr nachhaltig, die Xylemverfärbung wurde jedoch durch P, PA und PC weniger stark reduziert (vgl. auch Abb. 32-34).

Tabelle 41: Einfluß prä- und postinfektioneller Wurzelanwendung von einigen Phenanthren-Derivaten auf die durch Fusarium hervorgerufenen Krankheitssymptome. Konzentration: 10^{-4} M; Behandlung 4 und 2 Tage vor sowie 2, 5, 8 und 11 Tage nach der Infektion.

Wirkstoff	Welkeerscheinungen			Gefäßbräunungen		
	28 Tg. p.I.			28 Tg. p.I.		
	Index	rel.	Stat. Sich.	Index	rel.	Stat. Sich.
<u>Infiziert:</u>						
Unbehandelt	97,9	100		100	100	
Phenanthren (P)	8,0	8,1	+++	31,6	31,6	+++
2-Acetylphenanthren (2-AP)	4,7	4,9	+++	7,7	7,7	+++
3-Acetylphenanthren (3-AP)	0	0	+++	0	0	+++
9-Cyanphenanthren (CP)	3,1	3,1	+++	3,0	3,0	+++
1-Methylphenanthren (MP)	0	0	+++	0	0	+++
1,2,3,4,5,6,7,8-Octahydrophenanthren (OHP)	0	0	+++	0	0	+++
Phenanthren-9-aldehyd (PA)	6,1	6,2	+++	43,5	43,5	+++
9,10-Phenanthrenchinon (PC)	17,1	17,4	+++	52,2	52,2	++

Fortsetzung Tabelle 41

Wirkstoff	Welkeerscheinungen			Gefäßbräunungen		
	28 Tg. p.I.			28 Tg. p.I.		
	Index	rel.	Stat. Sich.	Index	rel.	Stat. Sich.
<u>Nicht infiziert:</u>						
Unbehandelt	0	0		0	0	
Phenanthren	2,3	2,3		0	0	
2-Acetylphenanthren	1,7	1,7		0	0	
3-Acetylphenanthren	0	0		0	0	
9-Cyanphenanthren	3,6	3,7		0	0	
1-Methylphenanthren	0	0		0	0	
1,2,3,4,5,6,7,8-Octa- hydrophenanthren	2,8	2,8		0	0	
Phenanthren-9-aldehyd	2,0	2,0		0	0	
9,10-Phenanthrenchinon	4,5	4,6		0	0	



Abbildung 32

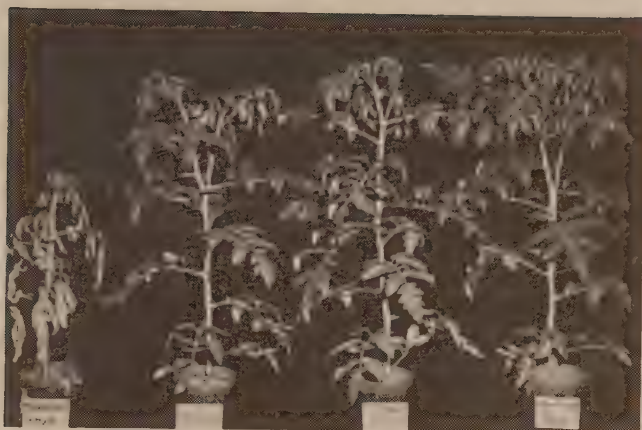


Abbildung 33



Abbildung 34

Abbildung 32-34: Einfluß von Phenanthrenchinon (PC), 3-Acetylphenanthren (3-AP) und 1-Methylphenanthren (MP) auf die Fusarium-Welke an Tomaten bei Wurzelapplikation vor und nach der Infektion.

Wurden hingegen die Substanzen (jeweils $10^{-4}M$, Applikation: 6, 4 und 2 Tage vor sowie 2, 4 und 6 Tage nach Inokulation) im Spritzverfahren auf die Blätter ausgebracht, so ließ der welkemindernde Einfluß erheblich nach. Die Auswertung (21. Tag p.I.) lieferte für die verschiedenen Versuchsreihen folgende Indizes für die Welkesymptome: Kontrolle = 91,7; PA = 42,7; MP = 45,6; CP = 49,0; 3-AP = 51,4; OHP = 64,6; P = 68,4; PC = 77,9. Die Gefäßbräunungen wurden z.B. durch CP um 30 und durch PA und 3-AP um rund 25% reduziert. Alle übrigen Verbindungen beeinträchtigten die Xylemverfärbung noch wesentlich schwächer. Es scheint, daß Blattbehandlungen lediglich eine gewisse Verzögerung im Krankheitsablauf hervorzurufen vermögen. Phytotoxische Schäden, vornehmlich an den unteren Blättern, verursachte die Blattapplikation von CP und 2-AP.

3.4.2.2. Verticillium

Untersuchungen über den Einfluß einzelner Phenanthren-Derivate auf den Krankheitsverlauf der Verticillium-Welke an Tomaten führten zu ähnlichen Resultaten wie mit Fusarium. Sämtliche geprüften Verbindungen verminderten bei präinfektioneller Wurzelanwendung die Welkeerscheinungen annähernd gleich stark (Tab. 42). Größere Differenzen konnten jedoch bei den Gefäßbräunungen festgestellt werden; CP und PA bewirkten hier die stärkste Reduktion.

Tabelle 42: Einfluß einiger Phenanthren-Derivate auf die durch Verticillium alboatrum an Tomaten hervorgerufenen Welkesymptome und Gefäßbräunungen bei präinfektioneller Wurzelapplikation.
Konzentration: $10^{-4}M$; Behandlung: 6, 4 und 2 Tage vor der Infektion.

Wirkstoff	Welkeerscheinungen		Gefäßbräunungen	
	18 Tg.p.I. Index	30 Tg.p.I. Index Stat. Sich.	30 Tg. p.I. Index Stat. Sich.	
<u>Infiziert:</u>				
Unbehandelt	38,7	47,3	85,1	
Phenanthren (P)	0,7	5,0 +++	30,4	++
2-Acetylphenanthren (2-AP)	0,4	3,1 +++	40,2	++
9-Cyanphenanthren (CP)	2,5	5,3 +++	29,6	+++
Phenanthren-9-aldehyd (PA)	1,4	2,5 +++	17,9	+++
9,10-Phenanthrenchinon (PC)	3,6	7,3 +++	36,8	++
<u>Nicht infiziert:</u>				
Unbehandelt	0	0	0	
Phenanthren	0	0	0	
2-Acetylphenanthren	0	1,3	0	
9-Cyanphenanthren	0,9	2,7	0	
Phenanthren-9-aldehyd	0,7	1,4	0	
9,10-Phenanthrenchinon	4,9	3,8	0	

Die Abbildungen 35-37 veranschaulichen die Wirkung einiger Phenanthren-Verbindungen auf die Verticillium-Welke an Tomatenpflanzen.



Abbildung 35

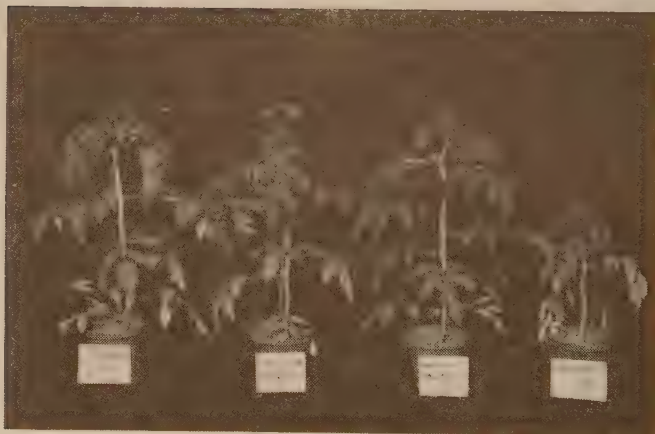


Abbildung 36



Abbildung 37

Abbildung 35-37: Einfluß präinfektioneller Wurzelapplikation (6, 4 und 2 Tage vor der Infektion) von 9-Cyanphenanthren (CP), Phenanthren-9-aldehyd (PA) und 2-Acetylphenanthren (2-AP) auf die Verticillium-Welke an Tomaten.
Aufnahmen: 29 Tage p.I.

Am 30 Tag nach der Infektion wurden von je zwei Pflanzen aus jeder Versuchsreihe des in Tab. 42 dargestellten Versuchs Rückisolierungen durchgeführt um festzustellen, inwieweit durch den Einfluß der Phenanthren-Derivate die Ausbreitung und Entwicklung von Verticillium in den Gefäßen der Tomatenpflanzen tatsächlich vermindert wird (Abb. 38).

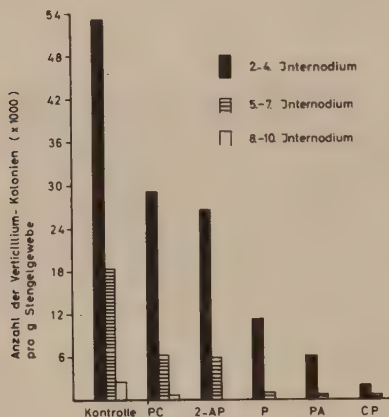


Abbildung 38: Einfluß präinfektioneller Wurzelapplikation ($10^{-4}M$) von 9,10-Phenanthrenchinon (PC), 2-Acetylphenanthren (2-AP), Phenanthren (P), Phenanthren-9-aldehyd (PA) und 9-Cyanphenanthren (CP) auf die Entwicklung von Verticillium albo-atrum in den Stengeln infizierter Tomatenpflanzen. Behandlung: 6, 4 und 2 Tage vor der Infektion; Rückisolierung: 30 Tage nach der Infektion

Präinfektionelle Behandlung der Pflanzen mit diesen Substanzen hemmte die Entwicklung des Pilzes selbst in den untersten Internodien deutlich. Die stärkste Reduktion in der Ausbreitung und der Myzelmenge wurde jedoch im mittleren und oberen Stengelabschnitt beobachtet. Dies traf besonders für den mittleren Stengelteil der mit P, PA und CP behandelten Pflanzen zu. Die oberen drei Internodien waren in diesen Fällen ohnehin frei von Verticillium.

3.4.2.3. Phytophthora

Die gleichen Phenanthren-Verbindungen, die in Verticillium-Untersuchungen an Tomatenpflanzen angewendet wurden, dienten auch zu orientierenden Untersuchungen gegen Phytophthora infestans. Präinfektionelle Blattapplikationen (10^{-4} M) mit P, PA, PC, 2-AP und CP blieben unwirksam gegen diesen Erreger.

3.4.3. Ergebnisse der Versuche in vitro

3.4.3.1. Fusarium

Durch Versuche in vitro sollte Aufschluß über die fungitoxische Wirkung der einzelnen Phenanthren-Derivate gegenüber Fusarium oxysporum f. lycopersici gewonnen werden. Nach den Ergebnissen des Plattentests (Tab. 43) hemmten die Substanzen die Wachstumsgeschwindigkeit der Pilzkolonien oft nur in geringem Maße. Den größten Einfluß hatten die Verbindungen PC, P, CP und OHP.

Tabelle 43: Einfluß von Phenanthren und einiger seiner Derivate auf Myzelwachstum und Sporenkeimung von Fusarium oxysporum f. lycopersici.
 Inkubationstemperatur: 27°C; Versuchsdauer des Sporenkeimtestes: 9 Std.

↓ = Ausfällungen im Substrat

Wirkstoff	Konz. (M)	Plattentest		Sporenkeimtest			
		Myzelzuwachs in mm		Konidienkei- mung		Keimschlauch- länge in μ	
		abs.	rel.	Prozent	rel.	abs.	rel.
Unbehandelt	-	25,0	100	96,0	100	35,6	100
Phenanthren(P)	10^{-3}	8,0↓	32,0	72,7↓	75,6	18,4	51,7
	10^{-4}	10,4↓	41,6	97,0↓	100,8	31,6	88,8
	10^{-5}	14,1	56,4	96,0	99,8	38,4	108,3
1-Methylphenan- thren (MP)	10^{-3}	18,1↓	72,4	92,7↓	96,4	18,0	50,6
	10^{-4}	20,8↓	83,2	96,7↓	100,6	33,4	93,9
	10^{-5}	23,0	92,0	98,0	101,9	31,0	87,1
9,10-Phenanthren- chinon (PC)	10^{-3}	6,9↓	27,6	0 ↓	0	0	0
	10^{-4}	12,8↓	51,2	40,7↓	42,3	9,0	25,3
	10^{-5}	16,6	66,4	83,3	86,6	13,8	38,8

Fortsetzung Tabelle 43

Wirkstoff	Konz. (M)	Plattentest		Sporenkeimtest			
		Myzelzuwachs in mm		Konidienkei- mung		Keimschlauch- länge in u	
		abs.	rel.	Prozent	rel.	abs.	rel.
2-Acetylphenan- thren (2-AP)	10 ⁻³	21,7 ↓	86,8	97,7 ↓	101,6	26,6	74,7
	10 ⁻⁴	23,9 ↓	95,6	93,3 ↓	97,0	28,8	80,9
	10 ⁻⁵	23,9	95,6	92,6	96,3	31,2	87,7
3-Acetylphenan- thren (3-AP)	10 ⁻³	15,0 ↓	60,0	92,0 ↓	95,6	26,8	75,3
	10 ⁻⁴	16,2 ↓	64,8	89,3 ↓	92,9	29,6	83,2
	10 ⁻⁵	20,7	82,8	97,7	101,6	38,0	106,8
Phenanthren-9- aldehyd (PA)	10 ⁻³	12,0 ↓	48,0	0 ↓	0	0	0
	10 ⁻⁴	16,2 ↓	64,8	3,7 ↓	3,8	9,0	25,3
	10 ⁻⁵	22,5	90,0	90,0	93,6	30,8	86,5
9-Cyanphenan- thren (CP)	10 ⁻³	11,5 ↓	45,0	90,0 ↓	93,6	24,2	68,0
	10 ⁻⁴	17,5 ↓	70,0	97,7 ↓	101,6	32,2	90,5
	10 ⁻⁵	18,7	74,8	97,0	100,8	33,6	94,4
1,2,3,4,5,6,7,8- Octahydrophenan- thren (OHP)	10 ⁻³	4,8 ↓	19,2	1,0 ↓	1,0	11,4	32,0
	10 ⁻⁴	6,5 ↓	26,0	92,7	96,4	33,8	94,9
	10 ⁻⁵	20,5	82,0	97,7	101,6	33,4	93,8

Im Sporenkeimtest hingegen wurde durch Einwirkung der Substanzen PC und PA in den beiden höchsten Konzentrationsstufen (10⁻³ und 10⁻⁴M) sowohl der Anteil ausgekeimter Konidien als auch das Wachstum der Keimschläuche stark herabgesetzt, während OHP nur in der stärksten Dosierung wirkte.

3.4.3.2. Verticillium

Zur Prüfung der Fungitoxizität wurde in diesem Fall nur der Sporenkeimtest angewandt (Tab. 44) und außerdem die noch nicht in vivo gegen Verticillium geprüften Verbindungen (3-AP, OHP, MP) einbezogen. Auch hier verminderten die Substanzen PC, PA und OHP sowohl die Keimungsrate als auch das Wachstum der Keimschläuche am stärksten.

Tabelle 44: Einfluß verschiedener Phenanthren-Derivate auf die Sporenkeimung und das Wachstum der Keimschläuche von Verticillium albo-atrum.

Temperatur: 20°C; Inkubationsdauer: 20 Std.

↓ = Ausfällungen im Substrat

Wirkstoff	Konz. (M)	Konidienkeimung		Keimschlauch- länge in μ	
		Prozent	rel.	abs.	rel.
Unbehandelt	-	90,0	100	42,8	100
Phenanthren (P)	10 ⁻³	26,7↓	29,6	16,0	37,3
	10 ⁻⁴	90,0↓	100	43,6	101,8
	10 ⁻⁵	93,3	103,6	47,2	110,2
1-Methylphenan- thren (MP)	10 ⁻³	31,4↓	34,8	19,2	44,8
	10 ⁻⁴	94,0↓	104,3	39,2	91,5
	10 ⁻⁵	83,2	92,3	40,8	95,3
9,10-Phenanthren- chinon (PC)	10 ⁻³	0 ↓	0	0	0
	10 ⁻⁴	6 ↓	6,6	17,6	41,1
	10 ⁻⁵	72,0	79,9	20,8	48,6
2-Acetylphenan- thren (2-AP)	10 ⁻³	55,0↓	61,0	31,2	72,8
	10 ⁻⁴	91,3↓	101,3	45,6	106,5
	10 ⁻⁵	96,1	106,6	47,6	111,1
3-Acetylphenan- thren (3-AP)	10 ⁻³	86,0↓	95,4	30,0	70,0
	10 ⁻⁴	88,7↓	98,2	40,8	95,3
	10 ⁻⁵	84,7	94,0	34,4	80,3
Phenanthren-9- aldehyd (PA)	10 ⁻³	1,3↓	1,4	4,8	11,2
	10 ⁻⁴	70,6↓	78,4	19,2	44,8
	10 ⁻⁵	65,3	72,5	22,4	52,3
9-Cyanphenanthren (CP)	10 ⁻³	86,0↓	95,4	28,8	67,2
	10 ⁻⁴	44,0↓	48,8	39,2	91,5
	10 ⁻⁵	89,3	99,2	25,2	58,8
1,2,3,4,5,6,7,8- Octahydrophenan- thren (OHP)	10 ⁻³	0 ↓	0	0	0
	10 ⁻⁴	68,6	76,1	28,8	67,2
	10 ⁻⁵	87,3	96,9	44,8	104,6

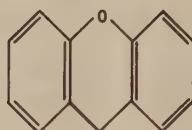
3.5. Versuche mit Xanthen-Derivaten

3.5.1. Einführung

Xanthen, eine heterocyclische Verbindung, leitet sich vom Pyran ab, an das 2 Benzolringe angegliedert sind.



Fluoren



Xanthen

Das Xanthenderivat Xanthon wird von HORSFALL (1956) als ein schwaches Fungizid bezeichnet. Weitere Hinweise auf Untersuchungen mit Xanthen oder dessen Derivaten gegen pilzliche Krankheitserreger an Pflanzen sind uns bisher nicht bekannt geworden. Es wurde daher abschließend der Einfluß folgender Xanthen-Verbindungen auf die Fusarium-Welke an Tomaten geprüft (Tab. 45).

Tabelle 45: Die in den Untersuchungen verwendeten Xanthen-Derivate, ihre Herkunft und Reinheit.

Wirkstoff	Abkürzung	Herkunft	Reinheit
Thioxanthen	(TX)	EGA ¹⁾	mind. 97%
Thioxanthon	(TXO)	EGA	mind. 99%
2-Chlorthioxanthen	(ClTX)	Fluka ²⁾	pract.
2-Chlorthioxanthon	(ClTXO)	Fluka	pract.
Xanthen-9-carbonsäure	(X-9-C)	Fluka	purum

1) EGA-Chemie KG, Steinheim bei Heidenheim /Brenz

2) Fluka AG, Chem.Fabrik, Buchs, Schweiz

3.5.2. Ergebnisse der Versuche in vivo

3.5.2.1. Morphoregulatorische Aktivität von Xanthen-9-carbonsäure

In Vorversuchen, die zur Feststellung der Phytotoxizitätsgrenze an Tomatenpflanzen dienten, konnte die interessante Beobachtung gemacht werden, daß die Verbindung Xanthen-9-carbonsäure (X-9-C) als Wachstumsregulator wirkt und die pflanzliche Morphogenese tiefgreifend beeinflusst.

Die durch X-9-C hervorgerufenen Symptome erinnerten sehr stark an die Wuchsveränderungen, wie sie durch die Morphaktine verursacht werden. Wahrscheinlich befinden sich die physiologisch aktiven Zentren, auf die X-9-C einwirkt, ähnlich wie bei den Morphaktinen, im Vegetationskegel und den meristematischen Geweben. Die Substanz X-9-C wird offenbar gut von den Tomatenwurzeln aufgenommen und schnell zu den Wirkungsbereichen transportiert, denn bereits einen Tag nach Applikation über die Wurzeln waren die ersten Einflüsse sichtbar. Nach mehreren Tagen traten folgende charakteristische Veränderungen im Habitus der Tomatensprosse auf: Die Blattspreiten der jüngeren Blätter wurden reduziert und zu Trichter-, Tüten- oder Spindelblättern umgebildet, wobei die sonst fiederteiligen Blätter oft ungeteilt ganzrandig erschienen. Bei den Blattstielen der oberen, jüngeren Blätter kam es unter Einwirkung von X-9-C zu Drehungen und Krümmungen.

Eine Konzentration von $10^{-4}M$ führte durch Hemmung des Zuwachses in den Sproßspitzen und Retardierung der Internodienstreckung allgemein zur Entwicklungshemmung. Demgegenüber wurde der Austrieb aus den Blattachseln bei gleichzeitiger Deformation gefördert. Die verkleinerten, oberen Blätter wiesen eine dunklere Grünfärbung auf als die durch X-9-C nicht beeinflussten älteren Blätter. Darüber hinaus verursachte diese Substanz bei Wurzelanwendung ($10^{-4}M$) keinerlei phytotoxische Schäden an den Tomatenpflanzen.

Bei Applikation schwächerer Konzentrationen (z.B. $10^{-5}M$) reagierten die Pflanzen zunächst ebenfalls mit einer Wachstumsstockung, nach mehreren Tagen jedoch setzte ein ver-

stärkter Längenzuwachs mit andersartiger Blattausbildung ein. Die Blätter waren nicht mehr reduziert, sondern großflächig ganzrandig und sehr häufig ungeteilt und gekräuselt (vgl. Abb. 39 und Abb. 40).



Abbildung 39: Die morphoregulatorische Aktivität von Xanthin-9-carbonsäure bei zweimaliger Wurzelapplikation ($5 \times 10^{-5} \text{ M}$).

Erste Beobachtungen deuteten darauf hin, daß die mit X-9-C behandelten Tomatenpflanzen früher blühen und Früchte ausbilden. Blattapplikation wirkte bei gleichen Dosierungen weniger morphoregulatorisch als Zuführung des Wirkstoffes über die Wurzeln.

Eine weitere typische Wirkung von X-9-C ist die Beeinflussung des Geo- und Phototropismus, die an Weizen- und Roggenkeimlingen untersucht wurde. Dazu wurden Weizen- und Roggenkörner in verschieden starke X-9-C-Lösungen 24 Stunden lang

eingetaucht und anschließend in Quarzsand ausgesät, oder aber zuerst ausgelegt und danach mit verschiedenen starken Wirkstofflösungen einmal gegossen. Die unter dem Einfluß von X-9-C herangezogenen Keimlinge hatten die Fähigkeit verloren, auf die Schwerkraft oder auf einseitige Lichtquellen zu reagieren. Die Wurzeln und Sprosse wuchsen in alle Richtungen. Zudem konnte festgestellt werden, daß 10^{-3} M X-9-C im Gegensatz zu den Morphaktinen die Auskeimung der Weizen- und Roggenkörner sowohl nach Vorquellung als auch bei Gießbehandlung stark verminderte.

X-9-C löste also bei Mono- wie bei Dikotylen weitgehend ähnliche Symptome wie die Morphaktine aus. Allerdings mußte X-9-C in wesentlich höheren Konzentrationen angewendet werden als die Morphaktine. Wie schon in der Einführung zu den Morphaktinen erwähnt wurde, besteht nach KRELLE und LIBBERT (1968) die primäre Wirkung dieser Substanzgruppe offenbar in der Hemmung des IES-Transportes. Es könnte somit auf Grund der ähnlichen morphoregulatorischen Wirkung von Morphaktinen und Xanthen-9-carbonsäure vermutet werden, daß die letztere Verbindung ebenfalls den IES-Transport hemmt, wodurch die Störungen von Tropismus und Apikaldominanz erklärt würden. Es wäre interessant zu untersuchen, ob durch eine zusätzliche Hydroxyl-Gruppe in 9-Position und durch Veresterung der Carboxylgruppe eine Steigerung der morphoregulatorischen Wirkung erreicht werden kann, oder ob durch Chlorsubstitution an physiologisch aktiven Zentren der Xanthen-9-carbonsäure sich die Aktivität erhöhen läßt.

Auch 2-Chlorthiaxanthen (ClTX) ruft bei entsprechenden Konzentrationen deutliche Wuchsanomalien hervor, allerdings wesentlich schwächer als X-9-C.

3.5.2.2. Wirkung gegen die Fusarium-Welke

Die Xanthen-Derivate wurden sowohl auf ihren präventiven als auch auf ihren kurativen Effekt gegenüber der Fusarium-Welke an Tomaten untersucht. Zweimalige Behandlung mit 2-Chlorthiaxanthen (ClTXO), Xanthen-9-carbonsäure (X-9-C) und 2-Chlorthiaxanthen (ClTX) vor der Infektion hatte sehr drastische welke-

mindernde Wirkungen, auch die Verbräunung des Xylems wurde auf die unteren Internodien begrenzt (Tab. 46).

Tabelle 46: Einfluß präinfektioneller Wurzelapplikation von Xanthen-Derivaten auf die durch *Fusarium oxysporum* f. *lycopersici* hervorgerufenen Welkeerscheinungen und Gefäßbräunungen.
Konzentration: 10^{-4} M; Behandlung: 5 und 3 Tage vor der Infektion.

Wirkstoff	Welkeerscheinungen		Gefäßbräunungen	
	15 Tg.p.I. Index	21 Tg.p.I. Index Stat. Sich.	21 Tg. p.I. Index Stat. Sich.	
<u>Infiziert:</u>				
Unbehandelt	39,7	92,2	95,4	
2-Chlorthiaxanthon (ClTXO)	2,3	3,6 +++	10,5	+++
2-Chlorthiaxanthan (ClTX)	0,4	0,7 +++	15,0	+++
Xanthen-9-carbonsäure (X-9-C)	0	2,1 +++	8,3	+++
<u>Nicht infiziert:</u>				
Unbehandelt	0,9	0	0	
2-Chlorthiaxanthon (ClTXO)	1,3	1,6	0	
2-Chlorthiaxanthan (ClTX)	0	0	0	
Xanthen-9-carbonsäure (X-9-C)	0	0	0	

Schon eine einmalige Applikation dieser Wirkstoffe (10^{-4} M) am 2. Tag vor der Infektion über die Wurzeln führte zu einer ausgeprägten Milderung des Krankheitsbildes. Nach 21 Tagen wurden folgende Indizes für die Welkesymptome festgestellt: Kontrolle = 91,7; ClTXO = 6,0⁺⁺⁺; ClTX = 6,5⁺⁺⁺; X-9-C = 5,1⁺⁺⁺. Für die Gefäßbräunung in den Stengeln ergab sich: Kontrolle = 93,8; ClTXO = 45,1⁺⁺; ClTX = 15,6⁺⁺⁺ und X-9-C = 22,6⁺⁺⁺. In einem anderen Versuch wurden die Verbindungen Thioxanthon (TXO) und Thioxanthan (TX) (beide 10^{-4} M) 6, 4 und 2 Tage vor der Inokulation über die Wurzeln appliziert. Nach dreiwöchiger Versuchsdauer betrug der Welke-Index für: Kontrolle = 89,2; TXO = 11,6⁺⁺⁺; TX = 6,1⁺⁺⁺. Die entsprechenden Xylemverbräunungen wiesen folgende Indizes auf: Kontrolle = 92,9; TXO = 45,7⁺⁺ und TX = 31,5⁺⁺.

Tabelle 47: Einfluß einer einmaligen postinfektionellen Wurzelapplikation von drei Xanthen-Derivaten am 4. Tage nach der Infektion auf die durch Fusarium an Tomaten hervorgerufenen Welkeerscheinungen und Gefäßbräunungen.
Konzentration: $10^{-4}M$

Wirkstoff	Welkeerscheinungen			Gefäßbräunungen	
	15 Tg.p.I. Index	21 Tg.p.I. Index	Stat. Sich.	21 Tg. p.I. Index	Stat. Sich.
<u>Infiziert:</u>					
Unbehandelt	39,7	92,2		95,4	
2-Chlorthiaxanthon (ClTXO)	4,3	23,0	+++	58,2	+
2-Chlorthiaxanthin (ClTX)	5,1	21,6	+++	52,3	+
Xanthen-9-carbonsäure (X-9-C)	1,3	9,8	+++	36,9	++
<u>Nicht infiziert:</u>					
Unbehandelt	0	0		0	
2-Chlorthiaxanthon	0	0		0	
2-Chlorthiaxanthin	0	0		0	
Xanthen-9-carbonsäure	0	0		0	

Tab. 47 stellt die Ergebnisse eines Versuches dar, in dem drei Xanthen-Derivate zu einem verhältnismäßig späten Zeitpunkt (4 Tage nach der Infektion) angewendet wurden. Obwohl sich der Erreger bis zur Applikation der Wirkstoffe in der Pflanze ungehindert ausbreiten konnte, wurde dennoch durch diese einmalige Behandlung eine deutliche Befallsminde-
rwirkt. Die Werte für die Gefäßbräunungen waren demgegenüber deutlich höher. Die stärkste Beeinflussung ging von X-9-C aus.

Erfolgte die Wurzelbehandlung der Tomatenpflanzen mit den beiden Mitteln TXO und TX (jeweils $10^{-4}M$) am 2., 4. und 6.Tag nach der Beimpfung, so ergaben sich zu Versuchsabschluß (25. Tag p.I.) folgende Welke-Indizes: Kontrolle = 86,1; TXO = 11,5⁺⁺⁺ und TX = 20,6⁺⁺⁺. Für die Gefäßbräunungen wurden nachstehende Werte ermittelt: Kontrolle = 94,2; TXO = 44,5⁺⁺; TX = 53,6⁺.

Noch deutlichere Effekte konnten selbst bei relativ langer Versuchsdauer dann erzielt werden, wenn die postinfektionelle Applikation auf eine Behandlung vor der Infektion folgte (Tab. 48).

Tabelle 48: Einfluß prä- und postinfektioneller Applikation von Thioxanthen (TXO) und Thioxanthen (TX) auf die durch Fusarium an Tomaten hervorgerufenen Welkesymptome und Gefäßbräunungen.
Konzentration: $10^{-4}M$; Behandlung: 4 und 2 Tage vor sowie 2, 5, 8 und 11 Tage nach der Infektion.

Wirkstoff	Welkeerscheinungen		Gefäßbräunungen	
	18 Tg.p.I. Index	28 Tg.p.I. Index Stat. Sich.	28 Tg. p.I. Index Stat. Sich.	
<u>Infiziert:</u>				
Unbehandelt	40,8	98,3	100	
Thioxanthon (TXO)	0	4,2 +++	7,4	+++
Thioxanthen (TX)	0,3	2,7 +++	8,1	+++
<u>Nicht infiziert:</u>				
Unbehandelt	0	0	0	
Thioxanthon	0	0,3	0	
Thioxanthen	0	0,7	0	

Beide Verbindungen schädigten übrigens in geringem Umfang die unteren Blätter der Tomatenpflanzen. Die Abb. 40-42 veranschaulichen ebenfalls die befalls mindernden Einflüsse einiger Xanthenderivate auf die Fusarium-Welke.

Applikation der Substanzen über die Blätter der Tomatenpflanzen war auch hier mit einem erheblichen Wirkungsverlust verbunden. Während die Wirkstoffe die Welke etwas stärker reduzierten (30-40%), vermochten sie die Gefäßbräunungen nicht nennenswert zu beeinflussen. ClTXO, ClTX sowie TX verursachten bei Blattbehandlung an den unteren Blättern leichte Schäden.



Abbildung 40

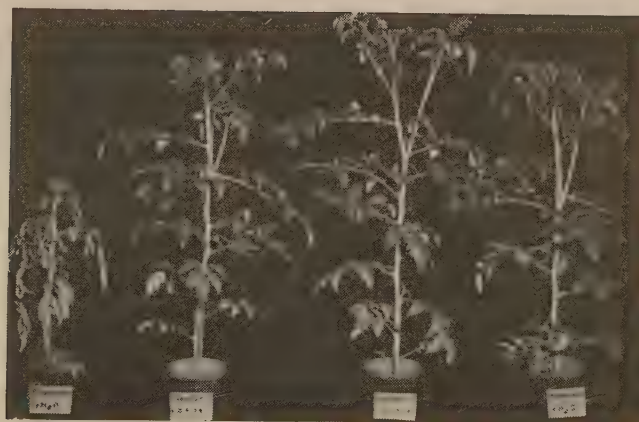


Abbildung 41

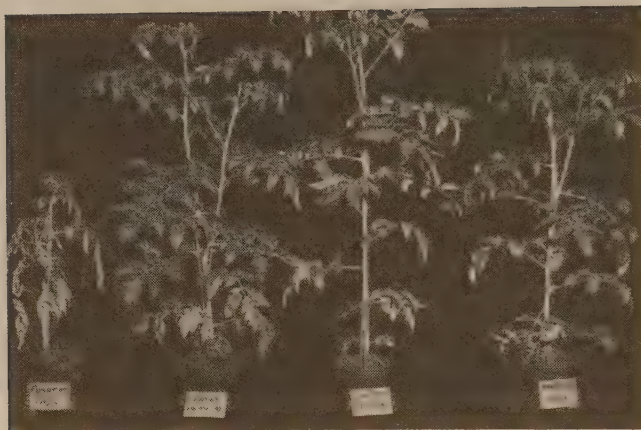


Abbildung 42

Abbildung 40-42: Einfluß von Xanthen-9-carbonsäure (X-9-C) (5 und 3 Tage vor der Infektion behandelt), Thioxanthen (TX) und Thioxanthon (TXO) (4 und 2 Tage vor sowie 2, 5, 8 und 11 Tage nach der Infektion behandelt) auf die Fusarium-Welke an Tomaten bei Behandlung über die Wurzeln. Konzentration jeweils 10^{-4} M.

3.5.3. Ergebnisse der Versuche in vitro

Um Aussagen über die fungitoxischen Eigenschaften der Xanthen-Derivate machen zu können, wurden diese Verbindungen im Plattentest sowie im Sporenkeimtest geprüft (Tab. 49). Allgemein übten die Mittel eine nur geringe Hemmwirkung auf das Myzelwachstum von *Fusarium* auf Czapek-Dox-Agar aus. Lediglich 10^{-3} M 2-Chlorthiaxanthen verringerte die Pilzentwicklung um 64%. Im Sporenkeimtest wurden hingegen durch 10^{-3} M 2-Chlorthiaxanthon und Xanthen-9-carbonsäure die Keimung der Konidien vollständig unterdrückt. Die letztere Verbindung reduzierte auch in Konzentrationen von 10^{-4} M noch die Keimschlauchlänge und den Anteil gekeimter Sporen erheblich. Alle

übrigen Substanzen schränkten bei $10^{-3}M$ die Auskeimung und das Wachstum der Keimschläuche wohl mehr oder weniger stark ein, aber die nächst schwächere Konzentrationsstufe beeinflusste beide kaum noch.

Tabelle 49: Einfluß einiger Xanthen-Derivate auf Myzelwachstum und Sporenkeimung von *Fusarium oxysporum* f. *lycopersici*.

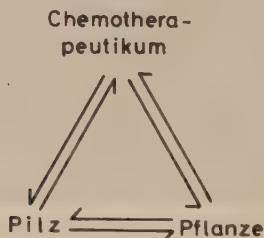
Temperatur: 27°C; Inkubationsdauer im Sporenkeimungstest: 10 1/2 Std.; Inkubationsdauer im Plattentest: 5 Tage.

Wirkstoff	Konz. (M)	Plattentest		Sporenkeimungstest			
		Myzelzuwachs in mm		Konidien-keimung		Keimschlauchlänge in u	
		abs.	rel.	Proz.	rel.	abs.	rel.
Unbehandelt	-	28,0	100	88,7	100	55,8	100
Thioxanthen (TX)	10^{-3}	25,0	89,2	48,0 ↓	54,1	20,7	37,1
	10^{-4}	26,9	96,0	86,3	97,2	58,9	105,6
	10^{-5}	26,0	92,8	92,7	104,4	53,5	95,9
Thioxanthon (TXO)	10^{-3}	23,6	84,2	58,0 ↓	65,4	29,7	53,2
	10^{-4}	26,6	94,9	80,0	90,1	42,7	76,6
	10^{-5}	26,9	96,0	85,0	95,8	40,9	73,3
2-Chlorthiaxanthen (ClTX)	10^{-3}	10,3	36,8	0 ↓	0	0	0
	10^{-4}	24,8	88,5	87,3	98,4	49,9	89,5
	10^{-5}	26,7	95,3	90,0	101,4	60,3	108,0
2-Chlorthiaxanthon (ClTXO)	10^{-3}	26,7	95,3	74,0 ↓	83,4	45,0	80,6
	10^{-4}	27,7	98,8	85,0	95,7	53,5	95,9
	10^{-5}	26,6	94,9	82,6	93,0	50,8	91,1
Xanthen-9-carbonsäure (X-9-C)	10^{-3}	23,6	84,3	0 ↓	0	0	0
	10^{-4}	27,5	98,2	26,0	29,3	13,0	23,4
	10^{-5}	27,6	98,5	78,7	88,7	39,6	70,9

↓ = Ausfällungen im Substrat

4. DISKUSSION

Die Behandlung welkekranker Tomatenpflanzen mit chemotherapeutisch wirksamen Substanzen führt zu Wechselwirkungen, die in Anlehnung an KAARS SIJPESTIJN (1961) durch folgendes Wirkungsdreieck veranschaulicht werden können:



Die Beziehung Chemotherapeutikum - Pilz scheint bei Anwendung systemischer Fungizide die größte Bedeutung zu haben. Bei näherer Betrachtung des dargestellten Systems muß jedoch angenommen werden, daß die Pflanze in ihrer Wechselwirkung sowohl mit dem Pathogen als auch mit dem Wirkstoff entscheidend beteiligt ist. Denn einmal reagiert die Pflanze auf die in sie eingedrungenen Krankheitserreger und versucht je nach Anfälligkeitsgrad die Ausbreitung des Parasiten zu unterdrücken. Zum anderen ist für das Zusammentreffen von Pilz und chemischer Verbindung meist Voraussetzung, daß die applizierte Substanz von der Pflanze aufgenommen und zu den infizierten Geweben transportiert wird. Darüber hinaus sind, wie anschließend näher zu behandeln sein wird, beim Einsatz chemotherapeutischer Wirkstoffe noch weitere Wechselbeziehungen möglich. Grundlegende Voraussetzung für die systemische Wirksamkeit einer Substanz ist sowohl die Aufnahme als auch der Transport in der Pflanze. Es liegt daher nahe, zunächst die Frage zu behandeln, ob die auf ihre welkemindernde Wirkung geprüften chemischen Verbindungen von den Tomatenpflanzen aufgenommen und transportiert wurden. Da Stoffe, die nicht

nur vom Blatt, sondern auch von den Wurzeln aufgenommen werden, im Phloem vorwiegend basipetal und im Xylem akropetal transportiert werden können, erschien es zur Beurteilung der chemotherapeutischen Wirksamkeit einer Substanz angebracht, diese sowohl in Blatt- als auch in Wurzelapplikationen gegen die Gefäßparasiten zu prüfen.

Aus zahlreichen Befunden geht hervor, daß die Wuchshemmstoffe CCC (JUNG und EL FOULY 1966), CMH (JUNG 1967), B-995 (EDGERTON et al. 1967) und Amo-1618 (MARTH et al. 1953) von den Pflanzen aufgenommen und in den Gefäßen transportiert werden.

Die als Wachstumsregulatoren bekannten Morphaktine werden nach SCHNEIDER (1964) von einer großen Reihe von Pflanzen sowohl von den ober- als auch von den unterirdischen Organen aufgenommen, im Phloem wie im Xylem transportiert und wahrscheinlich in den aktiven Zentren, den Vegetationskegeln und meristematischen Zonen angereichert. ZIEGLER und VOGT (1968), die die Transportgeschwindigkeit dieser Verbindungen untersuchten, stellten fest, daß bei Haferkeimlingen, auf deren Blätter ein C^{14} -markiertes Morphaktinderivat gebracht worden war, bereits nach 3 Stunden in der Guttationsflüssigkeit Radioaktivität nachgewiesen werden konnte.

Obgleich Fluorenderivate und die als "Morphaktine" bezeichneten Verbindungen ein gemeinsames Grundgerüst - das Fluoren - besitzen, kann nicht einfach auf Grund dieser engen Verwandtschaft davon ausgegangen werden, daß das Fluoren und einige seiner Derivate ebenfalls von den Tomatenpflanzen aufgenommen und transportiert werden. Da ein direkter Nachweis für die Aufnahme und den Transport der Substanzen nicht erbracht wurde, stützen sich die Betrachtungen auf indirekte Beweise. Wie aus Untersuchungen von DAVIS et al. (1954) über die chemotherapeutische Wirkung fünfgliedriger Heterocyden hervorgeht, hängt die Aufnahme einer Verbindung unter anderem sehr stark von ihren physikalischen Eigenschaften, wie z.B. dem Schmelzpunkt (F-Wert), ab. So unterscheidet sich Carbazol (F = 246) von Dibenzothiophen (F = 98), Dibenzofuran (F = 87) und Fluoren (F = 116) durch seinen außergewöhnlich hohen

F-Wert, der für die schlechte Aufnahme durch die Tomatenpflanzen verantwortlich sein dürfte. Denn der hohe Schmelzpunkt deutet darauf hin, daß Carbazol eine starke Neigung besitzt, über Wasserstoffbrücken mit anderen Molekülen Aggregationen einzugehen, die schließlich Zellmembranen nicht mehr durchdringen können. Zudem konnten die Autoren nachweisen, daß eine Methylierung von Carbazol (z.B. 5-Methylcarbazol, F = 87) den Schmelzpunkt erniedrigt und damit die Aufnahme wesentlich verbessert.

Wie aus Tab. 16 hervorgeht, lassen sich die beträchtlichen Unterschiede in den F-Werten zwischen den einzelnen Fluoren-Derivaten auf die am Grundkörper in Position 2 bzw. 7 und 9 jeweils substituierten Nichtmetalle bzw. funktionellen Gruppen zurückführen. Die durch Angliederung eines Nichtmetallatoms hervorgerufene Erniedrigung des F-Wertes bedingt eine leichtere Aufnahme durch die Wurzeln und besseren Transport in den Gefäßen. Dies erklärt die Tatsache, daß es sich hierbei ausschließlich um Verbindungen handelt, die auch eine gewisse morphogenetische Wirkung auf die meristematischen Gewebe der Sproßspitze ausüben. Als weitere indirekte Beweise für Aufnahme und Transport einer chemischen Substanz durch die Pflanze können nach WAIN und CARTER (1967) sowie DIMOND (1962) die phytotoxischen Nebenwirkungen angesehen werden. Tatsächlich schädigten die Fluorenabkömmlinge bei höheren Aufwandmengen ($5 \times 10^{-4} M$) über die Wurzeln die unteren Blätter der Tomatenpflanzen in Abhängigkeit von der funktionellen Gruppe oder dem Nichtmetall am Fluorenmolekül unterschiedlich stark. Z.B. wurden nach Aufnahme von 2-BrF, 9-BrF, ClF, 9-F, HF und NF - es seien nur einige der gegen die Welke wirksamsten Verbindungen erwähnt - vorwiegend die Zellen mit nachlassender Stoffwechselaktivität, d.h. die unteren Blätter der Tomatenpflanzen geschädigt, während die jüngeren Gewebe auf Grund ihrer hohen Stoffwechselintensität diese Verbindungen möglicherweise "entgifteten". NF-behandelte Pflanzen reagierten noch zusätzlich mit Stengelbräunungen, wofür anscheinend die Nitrogruppe in 2-Stellung des Fluorenmoleküls verantwortlich ist. 2-AF rief bei vergleichbarer Konzentration keine nennenswerten Blattschädigungen hervor

(vgl. Tab. 19 und Tab. 22). Die Verbindungen F und FH scheinen hingegen in den Xylemelementen rasch transportiert und in den oberen Sproßteilen angereichert zu werden, wo sie von den Adern ausgehende Aufhellungen an den Blättern bewirken.

Es konnte jedoch kein Zusammenhang zwischen der Phytotoxizität der Fluoren-Derivate und ihrem chemotherapeutischen Einfluß aufgefunden werden.

Grundsätzlich trifft das über die Phytotoxizität der Fluoren-Derivate bereits Gesagte - wenn auch im abgeschwächten Maße - für die Phenanthren-Derivate zu. Mehrere Applikationen von 10^{-4} M Lösungen über die Wurzeln führten bei einigen Derivaten (CP, FC, PA) zu leichten nekrotischen Erscheinungen an den Basalblättern, während Behandlungen mit 3-AP, MP und OHP kaum erwähnenswerte Absterbeerscheinungen an den Tomatenblättern zur Folge hatten. Die mit den letzteren drei Verbindungen behandelten Pflanzen reagierten allerdings mitunter nach der Anwendung einige Tage lang mit gewissen Erschlaffungserscheinungen. Die Intensität, in welcher dieser Nebeneffekt auftrat, hing sehr stark von den jeweils herrschenden Umweltverhältnissen ab.

Nach der ausgeprägten morphoregulatorischen Aktivität zu schließen, scheint X-9-C besonders gut von den Wurzeln aufgenommen und in den Gefäßen transportiert zu werden. Schwächere Einflüsse gehen von ClTX aus. Die übrigen drei Xanthen-Verbindungen (ClTXO, TX, TXO) waren hingegen morphogenetisch unwirksam, erzeugten jedoch nach Wurzelapplikation leichte nekrotische Symptome an den unteren Blättern.

Inwieweit aber die einzelnen sich vom Fluoren, Phenanthren und Xanthen ableitenden Verbindungen ins Blatt eindringen und im Phloem transportiert werden, bleibt vorläufig unbeantwortet. Daß einige Phenanthren- (PC, CP, 3-AP) sowie Xanthenderivate (ClTXO, TX) bei Blattbehandlung stärkere Schäden, vor allem an den unteren Blättern, verursachen als nach Wurzelapplikation, sei ergänzend erwähnt. Insgesamt ergibt sich, daß die dosis tolerata, d.h. die von Tomatenpflanzen vertragene Wirkstoffkonzentration, bei Phenanthren-

und Xanthenverbindungen im allgemeinen höher ist als bei Fluoren-Derivaten; dabei handelt es sich - mit Einschränkungen - besonders um folgende Substanzen, die von der Wirtspflanze ohne schädliche Nebenwirkungen am besten toleriert werden: 2-AF, 3-AP, X-9-C.

Im Anschluß an die Betrachtung über Aufnahme und Transport der Substanzen erhebt sich nun die Frage, inwieweit diese Mittel den Befall mit Fusarium und Verticillium in den Tomatenpflanzen zu vermindern vermögen. Hinsichtlich der Wirkungsweise innertherapeutischer, organischer Wirkstoffe werden in der Literatur immer wieder zwei Grundrichtungen, in denen diese Verbindungen ihren welkemindernden Einfluß entfalten, herausgestellt (HORSFALL 1956, KAARS SIJPESTIJN 1961, GROSS-MANN 1962a, DIMOND 1962). Es sind dies einmal die echten systemischen Fungizide, deren Haupteinfluß gegen das Pathogen selbst gerichtet ist. Da diese Fungizide vor allem auf ein direktes Zusammentreffen mit dem Pilz in der Pflanze angewiesen sind, wird häufig angenommen, daß sie bei postinfektioneller Anwendung besonders wirksam sein müssen. Als Beispiel in diesem Zusammenhang sei erwähnt, daß sich nach Untersuchungen von ERWIN et al. (1968b,a) die Benzimidazol-Derivate 2-(4'-Thiazolyl) benzimidazol (= Merck TBZ Thiabendazol) sowie 1-(Butylcarbamoyl)-2-benzimidazol-carbaminsäuremethylester (= Du Pont 1991 Benlate) als ausgezeichnete systemische Fungizide gegen die Verticillium-Welke an Baumwolle erwiesen haben.

Andererseits ist in den letzten zwei Jahrzehnten eine Reihe von innertherapeutisch wirksamen Substanzen bekannt geworden, welche die Tracheomykosen dann am stärksten unterdrücken, wenn sie vor der Inokulation appliziert werden. Dies trifft insbesondere zu für Auxine und Substanzen mit auxinähnlichen Wirkungen gegenüber der Fusarium-Welke (DAVIS und DIMOND 1952 und 1956, DIMOND und DAVIS 1953, CORDEN und DIMOND 1959, CORDEN und EDGINGTON 1960) und der Verticillium-Welke an Tomaten (SINHA und WOOD 1967) sowie an Baumwolle (BICHEROV 1968). Behandlung der Tomatenpflanzen mit dem Antiauxin Maleinsäurehydrazid erhöht dagegen die Anfälligkeit gegen-

über den Gefäßparasiten Fusarium und Verticillium (WAGGONER und DIMOND 1952, SINHA und WOOD 1967). Der Erfolg wuchsstoffartiger Verbindungen konnte auch noch für andere Welkeerreger bestätigt werden. Vorbehandlungen der Ulmen mit Tetrachlorbenzoesäure (BECKMAN 1959) oder Trichlorphenyllessigsäure (SMALLEY 1962, BRÉNER und BECKMAN 1968) erhöhten deren Resistenz gegenüber Ceratocystis ulmi. Es liegt nahe, anzunehmen, daß Substanzen mit ausgesprochen guter präinfektioneller Wirkung gegen Welkeerreger den Stoffwechsel der Wirtspflanze im Sinne einer Resistenzsteigerung beeinflussen. Die Ergebnisse der Untersuchungen über die welkereduzierende Wirkung der einzelnen Substanzen lassen nun Aussagen darüber zu, in welche der beiden Hauptgruppen jedes untersuchte Mittel eingestuft werden kann. Die kurativen CCC-Effekte gegenüber der Fusarium-Welke scheinen den präventiven etwas überlegen zu sein. Erfolgte jedoch die CCC-Anwendung prä- und postinfektionell, so wurden die deutlichsten Ergebnisse erzielt (Tab. 3). Dieser Befund steht in Einklang mit den Resultaten von SINHA und WOOD (1967), wonach die präinfektionelle Wirkung von CCC gegenüber der Verticillium-Welke durch zusätzliche Nachbehandlung verbessert werden konnte. Dagegen vermochten Amo-1618 und B-995 lediglich bei Behandlung vor und nach der Infektion den Fusarium-Befall geringfügig abzuschwächen. Da die beiden übrigen Wuchshemmstoffe CMH und Phosfon-D jeweils nur prä- oder aber nur postinfektionell gegenüber den beiden Gefäßparasiten getestet wurden, kann nicht endgültig darüber entschieden werden, ob sie vor oder nach der Infektion besser wirken. Bei Betrachtung der Ergebnisse eines Versuchs mit postinfektioneller CMH-Behandlung (Tab. 4) fällt auf, daß diese Substanz ebenso stark die Symptomausprägung herabsetzt, wie das strukturell nah verwandte CCC. Nach KÖNIG (1968) besitzen CMH und CCC ein identisches Wirkungsprinzip. Demgegenüber aber hat Phosfon-D wahrscheinlich einen stärkeren prophylaktischen Effekt, denn während postinfektionelle Gaben von Phosfon-D die Ausbreitung von Fusarium kaum hemmten (Tab. 6), erfuhren die Tomatenpflanzen bei Vorbehandlung mit dieser Substanz eine beträchtliche Resistenzsteigerung gegenüber Verticillium alboatrum (Tab. 9).

Blattbehandlungen mit den Wirkstoffen blieben im allgemeinen wirkungslos.

Die Untersuchungen mit Morphaktinen ergaben nur geringe Wirkungsunterschiede zwischen prä- und postinfektioneller Behandlung; dabei reduzierten die Blattbehandlungen die Tracheomykosen erstaunlicherweise fast ebenso stark wie Wurzelanwendung (Abb. 4).

Wesentlich drastischere Minderungen in den Welkeerscheinungen und Gefäßbräunungen wurden durch Behandlung mit einigen Fluoren-Derivaten hervorgerufen. Die Tab. 18 und 20 zeigen, daß die wirksamsten Verbindungen dieser Gruppe sowohl protektive als auch kurative Einflüsse gegenüber dem Fusarium-Befall an Tomaten ausüben, wobei die postinfektionelle Behandlungsweise der präinfektionellen nur in geringem Umfang überlegen zu sein scheint. Gegen Verticillium besitzen die gleichen Substanzen offenbar einen verhältnismäßig schwächeren Einfluß als gegenüber Fusarium (Tab. 24 und 26). Einmal ist diese Erscheinung wahrscheinlich auf die während der Versuchsanstellungen mit Verticillium im allgemeinen vorherrschende niedrigere Temperatur und geringere Transpiration und der sich hieraus ergebenden schwächeren Wirkstoffaufnahme zurückzuführen, zum anderen aber auch auf die schwächere Wirkstoff-Dosis. Bei einem Vergleich von Tab. 24 mit Abb. 26 geht hervor, daß die Fluoren-Derivate bei präinfektioneller Applikation die Verticillium-Symptome etwas deutlicher verringern als bei ausschließlich postinfektioneller Behandlung. Auch GROSSMANN (1962b,a,1968) konnte in Untersuchungen über die chemotherapeutische Wirkung der Rufiansäure feststellen, daß diese Verbindung gegen die Fusarium-Welke an Tomaten bei postinfektioneller Applikation gegen die Verticillium-Welke jedoch bei präinfektionellen Gaben stärker wirksam ist.

Bei den Phenanthren-Derivaten überwiegt gegenüber der Fusarium-Welke hingegen der protektive Effekt. Dies kommt weniger bei den wirksamsten Verbindungen dieser Substanzgruppe (1,2,3,4,5,6,7,8-Octahydrophenanthren (OEH), 3-Acetylphenanthren (3-AP), 1-Methylphenanthren (MP)) zum Ausdruck, als vielmehr bei den

schwächer wirkenden (Tab. 38 und 39).

Die Xanthen-Derivate Thioxanthon (TXO) und Thioxanthen (TX) unterdrücken bei präinfektioneller Applikation die Krankheits-symptome etwa in gleichem Maße wie bei ausschließlich post-infektioneller Behandlung (Tab. 46 und s.S.116).

Vergleicht man den befalls-mindernden Einfluß der wirksamsten Substanzen aus den verschiedenen Verbindungsklassen, so ergibt sich, daß die Phenanthren- und Xanthenderivate den Fluorenverbindungen bei vergleichbarer Konzentration und entsprechenden Behandlungsterminen überlegen sind, d.h. die zur Unterdrückung der Gefäßparasiten notwendige Aufwand-menge (dosis curativa) ist bei den ersten beiden Substanz-gruppen niedriger als bei der letzteren. Dies trifft bei den Phenanthrenabkömmlingen für beide Gefäßkrankheiten und bei den Xanthenverbindungen, da diese bisher noch nicht gegen Verticillium an Tomaten geprüft wurden, zumindest für die Fusarium-Welke zu.

Auf Grund der vorher erwähnten z.T. höheren Tomatenverträglichkeit (dosis tolerata) einiger Phenanthren- und Xanthen-derivate kann zusammenfassend festgestellt werden, daß diese beiden Verbindungsgruppen einen günstigeren chemotherapeutischen Index (Verhältnis von dosis curativa zu dosis tolerata) besitzen als die Fluorenverbindungen. Obwohl zwischen den verschiedenen Wirkstoffgruppen beträchtliche Unterschiede hinsichtlich der Wirkung gegen die beiden Tracheomykosen bestehen, ist ihnen doch gemeinsam, daß postinfektionelle Applikationen die Krankheitssymptome ebenso stark reduzieren wie entsprechende Behandlungen vor der Infektion.

Daher erhob sich die Frage, inwieweit die geringere Ausbreitung der Pilze in den behandelten Pflanzen auf unmittelbare fungistatische Einflüsse zurückzuführen ist. Das Wachstum von Fusarium (Tab. 12) und Verticillium (Tab. 13) auf Czapek-Dox-Agar wird von CCC, CMH und Amo-1618 in Konzentrationen, wie sie in vivo angewendet wurden ($10^{-3}M$ - $10^{-4}M$), nicht gehemmt. Da mit zunehmender Länge der Alkylkette die fungizide Wirksamkeit quarternärer Ammoniumverbindungen gesteigert werden

kann, war es das Bestreben von EDGINGTON und DIMOND (1960a,b, 1964) sowie von EDGINGTON (1962, 1964, 1966), solche Verbindungen zu finden, in denen ausreichende Beweglichkeit in der Pflanze mit hohem fungitoxischen Einfluß vereinigt waren. Jedoch nimmt die Beweglichkeit dieser quarternären Ammoniumverbindungen im Xylem der Tomatenpflanzen mit länger werdender Alkylkette infolge der zunehmenden Adsorption an den Gefäßwänden ständig ab. Die Suche nach solchen systemischen Fungiziden stößt nach TEMPEL (1969) auf besondere Schwierigkeiten, weil die physikochemischen Kriterien für Aufnahme und Transport in der Pflanze zu denen für die Fungitoxizität im Gegensatz stehen. Denn für den Transport ist Polarität erforderlich, während für den fungiziden Erfolg apolare Verbindungen günstiger sind. Die Einschränkung der Wachstumsintensität der Pilze durch $10^{-3}M$ Phosfon-D ist möglicherweise nicht auf direkte fungistatische Wirkung, sondern auf die große Menge an Begleitstoffen im Präparat zurückzuführen, welches nur 10% reinen Wirkstoff enthielt. Die Annahme, daß Phosfon-D keine unmittelbare fungistatische Wirkung besitzt, wird unterstützt durch den Befund von KENDE et al. (1963), wonach das Wachstum von Fusarium moniliforme durch diese Substanz zumindest nicht gehemmt wird. Allerdings fehlt eine Angabe über die Reinheit des verwendeten Präparates. Wurden die Substanzen bei der Herstellung des Nährbodens mit erhitzt, so entstanden bei B-995 möglicherweise Zersetzungsprodukte, die auf das Myzelwachstum fungistatische Einflüsse ausübten. Da in wäßriger Lösung eine schwache Zersetzung von B-995 (REED 1965b) eintritt, wird dieser Vorgang wahrscheinlich durch das Erhitzen intensiviert. Auch bei den Morphaktinen ist in vivo nicht mit direkten fungitoxischen Effekten gegen die Welkeerreger zu rechnen (vgl. Abb. 7 und Tab. 15). Wesentlich deutlichere antimykotische Einflüsse auf die beiden Gefäßpilze wurden hingegen bei einigen Fluoren-Derivaten beobachtet. Dabei erhöht eine Halogensubstitution an den physiologisch aktiven Positionen des Fluorenmoleküls 2, 7 bzw. 9 im allgemeinen die fungistatische Aktivität. Jedoch spielt speziell die Stellung des Halogenatoms am Grundkörper

eine entscheidende Rolle für die Fungitoxizität, wie es das Beispiel der beiden Substanzen 2-BrF und 9-BrF in Tab. 30 und 32 zeigt. Bei Phenolverbindungen kann nach CORDEN (1969) durch Halogenanlagerung ebenfalls die fungitoxische Wirkung gesteigert werden.

Ferner hatte in unseren Untersuchungen die Einführung einer Hydroxylgruppe in 9-Stellung eine Erhöhung der fungitoxischen Aktivität, die derjenigen der Halogenderivate entsprach, zur Folge. Befindet sich in dieser Position neben der OH-Gruppe noch zusätzlich ein Carboxylrest oder dessen Ester, so verliert die Hydroxylgruppe ihre Wirkung, wie es bei der Diphenylenglykolsäure oder den Morphaktinen zum Ausdruck kommt. FUCHS (1964) vertritt die Auffassung, daß der fungizide Effekt von Anthrachinonderivaten gegenüber Fusarium auf dem Vorhandensein der Hydroxylgruppen beruht. Während das Fluoren (F) und auch die Derivate Nitrofluoren α (NF) und 2-Acetylfluoren (2-AF) im Plattentest ohne Wirkung blieben, verringerten sie dennoch im Sporenkeimtest den Anteil ausgekeimter Konidien und das Wachstum der Keimschläuche recht deutlich.

Demgegenüber besitzen die in vivo wirksameren Phenanthren-derivate 3-Acetylphenanthren (3-AP), 1-Methylphenanthren (MP) und 1,2,3,4,5,6,7,8-Octahydrophenanthren (OHP) bei Konzentrationen von 10^{-4} M kaum nennenswerte fungistatische Einflüsse im Sporenkeimtest gegen Fusarium und Verticillium (Tab. 43 und 44). Stärker hemmende Einflüsse gehen dagegen von Phenanthren-9-aldehyd (PA) und 9,10-Phenanthrenchinon (PC) aus. Während der fungistatische Effekt von PA vorläufig nicht näher zu erklären ist, beruht die fungitoxische Wirkung von PC nach BURCHFIELD et al. (1969) wahrscheinlich auf der Neigung, mit freien Disulfid- oder Thiol-Gruppen Redoxreaktionen einzugehen. Übrigens wird in den meisten Fällen das Wachstum der Keimschläuche von den Fluoren- und Phenanthren-Derivaten stärker gehemmt als die Auskeimung der Konidien. Dieser Befund steht in Einklang mit den Beobachtungen von HORSFALL und RICH (1953), wonach Phenanthren und Fluoren das Myzelwachstum von Sclerotinia fructicola stärker vermin-

dern als die Sporenkeimung. (Die Autoren folgerten daher, daß die genannten Verbindungen besonders auf die Kernteilung einwirken und somit die Myzelentwicklung beeinträchtigen, weil eben das Wachstum in stärkerem Maße von der Kernteilung abhängt als die ersten Phasen der Sporenkeimung). Andererseits wird von STEINBERG (1940) und GRÜNZEL (1967) angenommen, daß Phenanthren ein Antisporulantium darstellt, d.h. diese Substanz beeinträchtigt weniger das Myzelwachstum als vielmehr die reproduktive Phase, die Sporulation eines Pilzes. Da für die Ausbreitung von Verticillium in Baumwollpflanzen (PRESLEY et al. 1966) und Melonen (REID 1958) hauptsächlich der Sporentransport mit dem Xylemsaft in den Gefäßen verantwortlich sein soll, hängt die Befallsstärke einerseits von der Konidienproduktion, andererseits von der Transportgeschwindigkeit und der Konidienkeimung im Xylem ab. Die Frage, die sich in diesem Zusammenhang stellt, nämlich, inwieweit der welkemindernde Einfluß auf eine Verhinderung bzw. Einschränkung der Konidienproduktion von Fusarium oder Verticillium in den Gefäßen der Tomatenpflanzen durch die Phenanthren-Derivate zurückzuführen ist, bleibt vorläufig offen.

Im Gegensatz zu den Fluoren- und Phenanthrenverbindungen fällt bei den Xanthenderivaten auf, daß die Konidienkeimung oft stärker gehemmt wird als das Pilzwachstum (Tab. 49). Außerdem wird durch zusätzliche Chlorsubstitution die fungitoxische Aktivität der Xanthenderivate nicht nennenswert gesteigert; offenbar befindet sich das Chloratom in 2-Stellung nicht an einem physiologisch aktiven Zentrum des Grundkörpers. Die stärkste Wirkung auf die Sporenkeimung und das Keimschlauchwachstum geht von Xanthen-9-carbonsäure und Thioxanthon aus. Eine Beziehung zwischen Fungitoxizität und systemischer Wirkung gegenüber den Welkekrankheiten konnte jedoch weder bei den Fluoren-, Phenanthren- noch Xanthenverbindungen festgestellt werden.

Von entscheidender Bedeutung für eine direkte und nachhaltige Beeinflussung der Welkeerreger durch eine chemische Verbindung ist schließlich die Frage, welche Konzentration eine

Substanz tatsächlich im Xylem erreichen kann. Dies hängt unter anderem besonders von der Intensität der Transpiration ab. Wie aus Beobachtungen hervorgeht, wurden die Welkesymptome dann am meisten abgeschwächt, wenn während der Versuchsperiode günstige Voraussetzungen für eine hohe Transpiration gegeben waren. Versuche zur Bestimmung der Konzentration der applizierten Verbindungen im Xylemsaft und zur Feststellung der Adsorption an die Gefäßwände wurden im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt. Allgemein kann aber schon auf Grund der geringen Wasserlöslichkeit der wirksamsten Fluoren-, Phenanthren- und Xanthen-Derivate angenommen werden, daß eine Konzentration von mehr als $10^{-4}M$ in der Xylemflüssigkeit kaum erreicht werden dürfte. Andererseits gibt es in der Literatur Beispiele dafür, daß die Konzentration von Wirkstoffen, etwa Sulfonamiden, in der Pflanze höher sein kann als in der über die Wurzeln zugeführten Lösung (CROWDY et al. 1958).

Es war ferner von Interesse festzustellen, ob vielleicht die Exsudate der mit Fluorenderivate behandelten Tomatenpflanzen antimykotische Eigenschaften besitzen. Erstaunlicherweise zeigten die Xylemsäfte der mit 9-Fluorenonhydrazon, 2-Nitrofluorenon, 2-Acetylfluoren und Fluoren behandelten Pflanzen eine mehr oder weniger erhebliche Hemmwirkung im Sporenkeimtest mit Fusarium, während sie gegenüber Verticillium ohne Einfluß blieben (Tab. 31 und 33). Erst nach chromatographischer Auftrennung könnte wohl endgültig entschieden werden, ob es sich bei diesen Hemmstoffen um die applizierten Substanzen selbst oder aber um Stoffwechselprodukte handelt, die infolge des Stoffeinfusses in der Wirtspflanze gebildet wurden. Diese Ergebnisse stehen übrigens in Einklang mit den Resultaten der Untersuchungen in vivo, in denen - wie bereits erwähnt - diese Fluoren-Derivate gegenüber Fusarium einen stärkeren Einfluß zeigten als gegen Verticillium.

Außerdem bestand noch die Möglichkeit, daß die Substanzen die von den Welkeerreger ausgeschiedenen Toxine bzw. Enzyme inaktivieren. Für die Pathogenese der Gefäßkrankhei-

ten spielen die von den Erregern gebildeten extrazellulären zellulolytischen und insbesondere pektolytischen Enzyme eine wesentliche Rolle (GOTHOSKAR et al. 1955, WOOD 1961, GROSS-MANN 1968). Orientierende Untersuchungen über die hemmenden Einflüsse einiger wirksamer Fluoren-Derivate (2-Nitrofluoren, 9-Hydroxyfluoren, 2-Acetylfluoren, 9-Bromfluoren) sowie verschiedener Phenanthrenverbindungen (9,10-Phenanthrenchinon, 9-Cyanphenanthren, 2-Acetylphenanthren, Phenanthren) auf die Aktivität zellulolytischer und pektolytischer Enzyme von Fusarium oxysporum f. lycopersici zeigten, daß keine dieser Substanzen als Cellulase (Cx)- oder als Polygalacturonase (PG)-Inhibitor in Frage kommt.

Die nachhaltige welkemindernde Wirkung der Fluoren-, Phenanthren- sowie Xanthenderivate bei ausschließlich postinfektioneller Anwendung bedeutet nicht, daß diese Verbindungen einfach fungitoxisch bzw. fungistatisch wirken. Aus den Versuchsergebnissen geht auch nicht hervor, daß die Verbindungen mit stärkerer fungizider Aktivität eine ausgeprägtere therapeutische Wirksamkeit besitzen als die weniger aktiven. Schließlich sprechen die guten befallsreduzierenden Effekte nach präinfektionellen Behandlungen mit diesen Substanzen ohnehin dafür, daß die Wirkstoffe wahrscheinlich den Stoffwechsel des Wirtes in einer Weise beeinflussen, die zur höheren Resistenz gegenüber den beiden Welkeerregern führt.

Nicht eindeutig ist die Frage zu beantworten, warum die mit den wirksamsten Fluorenderivaten behandelten Tomatenpflanzen zu Versuchsende ein geringeres Wurzelgewicht aufwiesen als die Kontrollpflanzen. Diese schwächere Wurzelentwicklung war vor allem durch Verminderung der Wurzellänge bedingt. In der Literatur gibt es zwar Hinweise dafür, daß mit zunehmender Hemmung des Wurzelwachstums die Fusarium-Resistenz der Tomatenpflanzen gesteigert werden kann (CORDEN und DIMOND 1959). Doch handelt es sich bei den Verbindungen, die das Wurzelwachstum hemmen, größtenteils um Wachstumsregulatoren mit auxinähnlicher Wirkung. Andererseits treten aber die für Auxine charakteristischen Wirkun-

gen, wie verkürztes Wurzelwachstum und Einfluß auf den Zuckergehalt, auch bei Substanzen ein, die keine Wachstoffsaktivität besitzen. So verursachte z.B. das Na-Salz der 2-Benzthiazolylthioglykolsäure (HD 160) die gleichen meßbaren Veränderungen (Reduktion des Wurzelgewichtes und verminderten Gehalt an reduzierenden Zuckern) wie IES und andere auxinähnliche Verbindungen (DAVIS und DIMOND 1952). Ebenso zeigten CROWDY und WAIN (1951) sowie FAWCETT et al. (1955) in ihren Untersuchungen, daß einige der Aryloxy-säuren gegen Botrytis fabae chemotherapeutisch wirksam waren, obgleich sie keine Wachstumsreaktionen hervorriefen.

Auf Grund der vorangegangenen Erörterung der Auxineffekte könnte nun gefolgert werden, daß ein Kriterium für die chemotherapeutische Wirksamkeit einiger Fluorenderivate gegen die Welkekrankheiten in der Hemmung des Wurzelwachstums bei Tomatenpflanzen zu suchen ist, auch wenn die Mittel keine oder oft nur eine schwache morphoregulatorische Wirkung besitzen.

Ein wichtiger Angriffspunkt der Wachstumsregulatoren, und möglicherweise auch der Fluorenderivate, dürfte das Pektin der Zellwände sein. CORDEN und DIMOND (1959) sowie EDGINGTON et al. (1961) gingen von der bekannten Tatsache aus, daß Auxine auf die Pektin-Komponenten der Zellwand einwirken. Sie stützten sich hierbei vor allem auf die Untersuchungsergebnisse von BENNET-CLARK (1956), der fand, daß die Zellwände ihr Höchstmaß an plastischer und elastischer Dehnbarkeit dann erreichen, wenn die Carboxylgruppen der Pektine und Hemicellulosen möglichst vollständig im methylierten Zustand vorliegen, da die Pektinketten dann nur noch durch die verhältnismäßig schwachen Van der Waal'schen Kräfte zusammengehalten werden. Sind aber die freien Carboxylgruppen vorherrschend, so werden die Pektinketten durch polare Wasserstoffbindungen miteinander verbunden, wodurch die Zellwand schon wesentlich an Elastizität verliert. Werden darüber hinaus die Carboxylgruppen durch das bivalente Kation Ca^{++} gebunden, so besitzt die Zellwand nur

noch eine minimale Dehnbarkeit. Nach einer älteren Anschauung von GLASZIOU (1957) sollen die Auxine diese Vorgänge kontrollieren, indem sie auf die Adsorption der Pektinmethylesterase (PME) an die Zellwände einwirken. Bei niedrigen Konzentrationen, z.B. von IES, liegt das Enzym an den Zellwänden in gebundener Form vor. Daraus resultiert, daß die Pektine überwiegend in veresterter Form auftreten. Höhere Dosierungen von Wuchsstoffen, wie sie auch zur Chemotherapie angewendet werden, setzen das Enzym frei, welches dann zu freien Carboxylgruppen führt. Bei gleichzeitiger Anwesenheit von Ca^{++} werden Ca-Pektate gebildet, die dem Angriff der extrazellulären pektolytischen Enzyme der Pilze erheblichen Widerstand entgegensetzen. In dieses Bild passen die Befunde von CORDEN (1965) sowie CORDEN und EDGINGTON (1960), wonach Ca-Mangel die Krankheitsanfälligkeit der Tomatenpflanzen gegenüber Fusarium bedeutend erhöhte. Allerdings sind bis heute keine weiteren Anhaltspunkte gefunden worden, die die Theorie von GLASZIOU (1957) unterstützen. Man nimmt zur Zeit vielmehr an, daß die Auxine auf den Nukleinsäure-Stoffwechsel einwirken. Es wäre daher denkbar, daß durch Auxin-Behandlungen eine höhere PME-Synthese induziert wird, mit den oben beschriebenen Konsequenzen.

Da die Wirkung der Phenanthren- und Xanthen-Derivate auf das Wurzelwachstum nicht untersucht wurde, bleibt die Frage offen, inwieweit sie auf diesem Wege eine Resistenzsteigerung induzieren. In manchen Fällen traten nach der Behandlung mit der höchsten Konzentration ($5 \times 10^{-4} \text{M}$) einiger Fluorenderivate (z.B. 9-Hydroxyfluoren, 2-Bromfluoren, 2-Nitrofluoren) an den Wurzeln der Tomatenpflanzen, außer der allgemeinen Verkürzung, leichte Schäden auf. KEYWORTH und DIMOND (1952) haben bereits gezeigt, daß eine Verletzung der Tomatenwurzeln vor der Inokulation durch heißes Wasser, ständiges Zurückschneiden oder durch Applikation subletaler Dosierungen schädlicher Chemikalien eine erhöhte Resistenz in den Tomaten gegenüber der Fusarium-Welke induziert. In z.T. noch früheren Arbeiten, die sich mit der Auffindung therapeutischer Substanzen beschäftigten,

beobachteten CHAPMAN et al. (1950) und DIMOND et al. (1952), daß die krankheitsvermindernden Verbindungen zugleich Wurzelschädigungen verursachten. CHAPMAN (1951) fand, daß die Verbindung n-Octadecyltrimethylammoniumpentachlorphenat (HD-3) an den Tomaten neben einer beträchtlichen Wurzelreduktion gewöhnlich auch eine Wurzelschädigung hervorrief. Diesen Symptomen läuft eine tiefgreifende Änderung des Wertsstoffwechsels parallel, die eine Resistenzsteigerung zur Folge hat. Das auffallendste Kriterium, das mit der verminderten Anfälligkeit gegenüber der Fusarium-Welke in engem Zusammenhang steht, ist die Änderung des Gehaltes an reduzierenden Zuckern in der Wirtspflanze (KEYWORTH und DIMOND 1952, DAVIS und DIMOND 1952, DAVIS 1952).

Auf die allgemeinen Beziehungen zwischen dem Zuckergehalt der Wirtspflanze und dem Grad der Anfälligkeit gegenüber verschiedenen Krankheiten verwiesen zuerst HORSFALL und DIMOND (1957). Sie unterscheiden in diesem Zusammenhang zwischen "high sugar" und "low sugar diseases". Unter einer "low sugar disease" versteht man eine Krankheit, die bei niedrigem Zuckergehalt der Pflanze verstärkt auftritt. Welkekrankheiten, wie z.B. das durch Ceratocystis ulmi verursachte Ulmensterben und die Fusarium-Welke werden im allgemeinen als "low sugar diseases" angesehen.

KAARS SIJPESTELJN (1961) vertritt unter Hinweis auf die Arbeit von FAWCETT et al. (1957) die Ansicht, daß diese von HORSFALL und DIMOND (1957) für die Wachstumsregulatoren aufgestellte Theorie nicht ausschließlich für Wuchsstoffe zutrifft, sondern auch für nah verwandte Verbindungen ohne wachstumsregulierende Eigenschaften Anwendung finden könnte. Daher erscheint die Annahme nicht sehr abwegig, daß einige wirksame Fluoren-Derivate auf Grund ihres Einflusses auf das Wurzelsystem eine Änderung des Zuckergehaltes in den Tomatenpflanzen induzieren, womit schließlich eine Resistenzsteigerung gegenüber den Welkekrankheiten verbunden ist. So fanden PATIL und DIMOND (1967a), daß zusätzliche Ernährung Fusarium-infizierter Tomatenpflanzen mit Zuckern die Ausprägung der Welkesymptome verminderte. Die Autoren

konnten diesen Befund auf eine reduzierte Polygalacturonasesynthese (PG) bei Fusarium zurückführen. Demgegenüber aber reagierte Verticillium alboatrum auf den erhöhten Glukosegehalt im Nährmedium mit einer gesteigerten PG-Aktivität (PATIL und DIMOND 1967b).

Ergänzend sollte hervorgehoben werden, daß nicht nur der Kohlenhydratstoffwechsel für eine Änderung der Krankheitsdisposition eine Rolle spielt, sondern der Stickstoff-Stoffwechsel ebenso entscheidend in diese Vorgänge mit eingreift. DAVIS und DIMOND (1952) bestätigten in ihren Untersuchungen, daß durch Behandlung von Tomatenpflanzen mit chemischen Substanzen sowohl der Gehalt an reduzierenden Zuckern als auch die wasserlösliche Stickstoff-Fraktion erhöht war.

Insgesamt läßt sich die Schlußfolgerung ziehen, daß durch Einwirkung von geeigneten Chemikalien der Stoffwechselzustand einer Pflanze in der Richtung geändert werden kann, daß daraus eine verbesserte Widerstandsfähigkeit gegenüber bestimmten Krankheiten resultiert. Diese Folgerung leitet unmittelbar über in das Gebiet der natürlichen Resistenz.

Diese natürlichen Abwehrmechanismen werden - wenn auch mit z.T. beträchtlicher zeitlicher Verzögerung - nach der Infektion in den anfälligen nichtbehandelten Tomatenpflanzen wirksam, wie deutlich aus den Ergebnissen der Rückisolierungen hervorgeht. Die Pilzmenge erreichte bis zum 14. Tag nach der Infektion ihr Maximum und verringerte sich dann. Diese Abnahme in den kranken Kontrollpflanzen wird von GROSSMANN (1962a, 1968) sowie MATTA und DIMOND (1963) auf die Chinon-Bildung zurückgeführt, die durch die Infektion in den angrenzenden Parenchymzellen des Xylems ausgelöst wird. Die durch Polymerisation entstandenen melanartigen Substanzen mit einem Molekulargewicht von mehr als 2000 spielen vermutlich im Resistenzmechanismus eine zentrale Rolle. Diese hochmolekulare Fraktion hemmt nach SOMERS und HARRISON (1967) sowohl die Sporenkeimung als auch das Hyphenwachstum von Verticillium alboatrum bei 0,5 mg/l vollständig, während die monomere Fraktion bei

dieser Konzentration unwirksam ist. Es wird angenommen, daß die Toxizität der Polyphenole gegenüber den Mikroorganismen auf Komplexbildung mit Proteinen beruht, die zur Enzymhemmung führt (GOLDSTEIN und SWAIN 1965). Demgegenüber konnte durch Behandlung der Tomatenpflanzen mit wirksamen Fluoren-, Phenanthren- und Xanthenderivaten nicht nur die Ausbreitung der Welkeerreger auf die unteren Internodien der Tomatenstengel begrenzt, sondern zugleich die Pilzvermehrung wesentlich eingedämmt werden. Eine Erklärung für die begrenzte Infektion ist möglicherweise in der natürlichen Resistenz der Tomatenpflanzen zu suchen. BECKMAN (1968) sieht auf Grund seiner Untersuchungen an Fusarium-infizierten Tomaten-, Baumwoll- und Broccoli-Pflanzen den Schlüssel für die Resistenz in einem Zeit-Faktor, d.h. die anfällige Pflanze reagiert mit einer zeitlich verspäteten Infektabwehr im Gegensatz zur resistenten. In Anlehnung an diese Theorie könnte man von der Vorstellung ausgehen, daß infolge des veränderten Stoffwechselzustandes der Wirtspflanze ihre Reaktionsbereitschaft durch geeignete Substanzen wesentlich gesteigert wird, so daß die Abwehrreaktionen unmittelbar nach Infektion verstärkt einsetzen und diese wirksam lokalisieren.

In den Versuchen mit dem dritten Krankheitserreger, Phytophthora infestans, reduzierten die Morphaktine und die beiden Wuchshemmstoffe B-995 und Phosfon-D den Blattbefall nur in geringem Ausmaß. Unzureichende Einflüsse gegen diesen Blattparasiten konnten in orientierenden Untersuchungen auch mit einigen Phenanthrenderivaten festgestellt werden.

Von den Fluoren-Derivaten mit stärkerer welkemindernder Wirkung hemmten die beiden Verbindungen 2-Bromfluoren (2-BrF) und 9-Hydroxyfluoren (HF) den Blattbefall von Phytophthora infestans an Tomaten. Weiterhin erwiesen sich von den geprüften Substanzen aus dieser Verbindungsklasse 9-Thiofluoren (TF), Fluorenonoxim (FO) und besonders 9-Aminofluoren-Hydrochlorid (AFH) als wirksam.

Interessante Zusammenhänge zwischen chemischer Struktur und befallsreduzierendem Einfluß ergaben sich bei den Verbindungen 9-Fluorenon (9-F) und 9-Thiofluorenon (TF). Während 9-F allgemein eine höhere chemotherapeutische Wirkung gegen die Fusarium-Welke zeigte, verursachte TF gegenüber Phytophthora die stärkere Befallsminderung. Diese Wirkungsunterschiede lassen sich durch die Ergebnisse der Fungitoxizitätsprüfungen erklären, wonach das S-Atom wesentlich toxischer gegenüber Phytophthora ist als das O-Atom. Daß die Substitution eines Atoms oder einer funktionellen Gruppe an unterschiedlichen Positionen des Grundmoleküls eine Bedeutung für die Krankheitsverminderung besitzt, bestätigen erneut die mit 2-Bromfluoren und 9-Bromfluoren bei Phytophthora erzielten Ergebnisse.

Die deutlichsten fungitoxischen bzw. fungistatischen Eigenschaften zeigte die Verbindung 9-Thiofluorenon, während aber andererseits gerade im Pflanzentest das Mittel 9-Aminofluoren-Hydrochlorid allen anderen Substanzen überlegen war. Auch CHITZANIDIS (1960) und YARWOOD (1953) beobachteten in ihren Untersuchungen mit Phytophthora infestans, daß die Fungizide sich auf der Pflanze oft anders verhalten als im Sporenkeimtest. Da möglicherweise die Substanzen, z.B. nach Applikation über das Blatt, die Wirtspflanze beeinflussen, wurde als ein Kriterium die Änderung der Polyphenol- und Peroxydase-Aktivität von behandelten und unbehandelten, infizierten und nichtinfizierten Pflanzen parallel zur Krankheitsentwicklung untersucht. Die Polyphenoloxydase-Aktivität in den Blättern wurde von keinem der untersuchten Präparate beeinflusst, während die Peroxydaseaktivität nur durch AFH eine Steigerung erfuhr. Es handelt sich bei den Peroxydasen um Häminenzyme mit einem Fe^{III} als Zentralatom, die im Pflanzenreich allgemein weit verbreitet sind. Obgleich ihre Stoffwechselfunktionen im einzelnen noch weitgehend unbekannt sind, wird allgemein angenommen, daß sie auch in der Atmung gesunder Pflanzen eine Rolle spielen. Während der Pathogenese sollen sie nach RUBIN und IVANOVA (1963) sogar an der Oxydation von NADH_2 beteiligt sein. Weiterhin entgiften die Peroxydasen H_2O_2 zu H_2O , wobei sie z.B. Phenole zu Chinonen oxydieren.

Eine Erklärungsmöglichkeit für eine Erhöhung der Peroxydase-Aktivität zeigten LOVREKOVICH et al. (1968), WEBER und STAHMANN (1964) sowie MACKO et al. (1968) auf. Sie stellten in ihren Untersuchungen fest, daß die durch Infektion mit nichtpathogenen Bakterien- und Pilzisolaten in den Wirtspflanzen hervorgerufenen Steigerungen der Peroxydase-Aktivität auf einer Neusynthese des Enzyms beruht. Sogar Zellnekrosen, die durch giftige Chemikalien verursacht wurden, induzierten die Synthese neuer Peroxydasen (FARKAS und STAHMANN 1966).

Ein weiteres Beispiel, daß durch Einwirkung einer organischen Verbindung, wie Phenylthioharnstoff, die Peroxydase-Aktivität in den Pflanzen erhöht werden kann, ergaben die Untersuchungen von KAARS SIJPESTEIJN und SISLER (1968). Diese Verbindung erhöht in den Gurkenkeimlingen die Peroxydase-Aktivität, unterdrückt dagegen die Polyphenoloxydase nahezu vollständig. Ob es sich in diesem Fall um Aktivierung inaktiver Peroxydase oder um eine Neubildung handelt, konnte von den Autoren nicht entschieden werden. Allgemein wird angenommen, daß die gesteigerte Aktivität oxydativer Enzyme zu einer höheren Resistenz führt. So fand UMAERUS (1959), daß die Peroxydase-Aktivität in verschiedenen Kartoffelsorten positiv mit der natürlichen Resistenz gegenüber Phytophthora infestans korreliert war. Über ähnliche Beziehungen zwischen Peroxydase-Aktivität und Phytophthora-Resistenz in Teilen von Kartoffelpflanzen berichten FEHRMANN und DIMOND (1967).

Auf Grund des Vorkommens der Peroxydase in den Zellwänden wird diesem Enzym eine Rolle in der Zellwandsynthese, insbesondere der Ligninbildung, zugeschrieben. Man geht hierbei von der Vorstellung aus, daß einerseits IES die Ligninsynthese hemmt und andererseits die Peroxydase entscheidend an der IES-Oxydation beteiligt ist (PARISH 1969b). HIJWEGEN (1963) beobachtete an resistenten Gurkensorten nach Inokulation mit Cladosporium cucumerinum eine verstärkte Lignifizierung, während eine anfällige Sorte diese Reaktionen nicht zeigte. Auch in den Gefäßen von Ulmen, die mit Cera-

tocystis_ulmi infiziert waren, fand GAGNON (1963) eine positive Korrelation zwischen der Peroxydase-Aktivität und dem Ligningehalt in den Zellwänden und zog daraus die Schlußfolgerung, daß die Peroxydase eine Rolle in der Transformation von Polyphenolen in ligninähnliche Verbindungen spielt. Die durch Phenylthioharnstoff hervorgerufene Aktivitätssteigerung der Peroxydase stimulierte in den Gurkenkeimlingen die Lignifizierung erheblich (KAARS SIJPESTIJN und SISLER 1968). Ob nun AFH ebenfalls die Lignifizierung auf Grund der gesteigerten Peroxydase-Aktivität fördert, bleibt offen.

Die sehr deutliche therapeutische Wirkung einiger Verbindungen kann auf Grund unserer bisherigen Untersuchungen nur teilweise erklärt werden. Zur weiteren Klärung der Wirkungsmechanismen sind noch zusätzliche Arbeiten erforderlich.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Untersuchungen über den Einfluß von Wachstumsregulatoren und chemisch nah verwandten Verbindungen auf verschiedene Tomatenkrankheiten (Welkekrankheiten, verursacht durch Fusarium oxysporum f. lycopersici bzw. Verticillium albo-atrum, sowie Blattbefall, hervorgerufen durch Phytophthora infestans), wobei die Pflanzen im Gewächshaus in Sandkultur gehalten wurden, führten zu folgenden Ergebnissen:

I. Versuche mit Wachsthemmstoffen

1. Von den verschiedenen Wachsthemmstoffen verminderten bei Applikation über die Wurzeln Chlorcholinchlorid (CCC) und N-Dimethyl-N(B-chloräthyl)-hydrazoniumchlorid (CMH) die durch Fusarium oxysporum f. lycopersici an Tomatenpflanzen hervorgerufenen Welkeerscheinungen am deutlichsten. CCC-Behandlung nach der Infektion schränkte die Welke stärker ein als ausschließlich präinfektionelle Applikation. Die Gefäßbräunungen wurden weniger reduziert als die Welkesymptome. Dagegen milderten Blattbehandlungen mit gleichen Wirkstoffkonzentrationen den Krankheitsverlauf nicht.
Die Substanzen Amo-1618, Phosfon-D, B-995 und C-011 hatten sowohl bei Blatt- als auch bei Wurzelbehandlung keinen wesentlichen Einfluß auf den Krankheitsverlauf.
2. CCC, Phosfon-D und B-995 reduzierten die durch Verticillium albo-atrum verursachten Welkesymptome bei Wurzelapplikation. Auch Blattbehandlungen mit CCC und B-995 führten zu schwachen Befallsminderungen. Erneut waren die Gefäßbräunungen weniger herabgesetzt als die Welkeerscheinungen.
3. Sämtliche geprüften Wachsthemmstoffe beeinflussten in 10^{-3} - und 10^{-4} -molarer Konzentration das Myzelwachstum von Fusarium und Verticillium in vitro nicht.

4. Während CCC und Amo-1618 auf die Anfälligkeit der Tomaten gegenüber Phytophthora infestans keinen Einfluß ausübten, konnte durch präinfektionelle Applikation über die Blätter mit B-995 und Phosfon-D sowie über die Wurzeln mit Phosfon-D eine schwache Wirkung gegen diese Krankheit beobachtet werden.

II. Versuche mit Morphaktinen

1. Die als "Morphaktine" bekannten Derivate der 9-Hydroxyfluorencarbonsäure verminderten die Fusarium-Welke zunächst erheblich, allerdings ließ die Wirkung mit zunehmender Versuchsdauer nach. Ähnlich verhielt es sich mit der Entwicklung des Pilzes in den Gefäßen der Tomatenpflanzen; nach zunächst starker Einschränkung durch die Morphaktine gleichen sich die Unterschiede zur Kontrolle mehr und mehr aus.
2. Versuche mit Verticillium führten zu ähnlichen Ergebnissen. Auch zwischen Blatt- und Wurzelapplikation bestanden keine wesentlichen Differenzen.
3. Mit direkten fungitoxischen Eigenschaften der Morphaktine gegen Fusarium und Verticillium kann in den Konzentrationen, wie sie in den Untersuchungen mit Tomatenpflanzen angewendet wurden, nicht gerechnet werden.
4. Weiterhin war die Hemmung des Pilzwachstums in den Gefäßen behandelter Pflanzen nicht auf einen Mangel an Aminosäuren zurückzuführen.
5. Die beiden Präparate IT 3233 und IT 3456 verursachten vor allem bei Blattbehandlung eine gewisse Befallsminderung gegenüber Phytophthora infestans.

III. Versuche mit Fluoren-Derivaten

1. Die Substanzen 9-Fluoren (9-F), 9-Fluorenonhydrazon (FH), 9-Bromfluoren (9-BrF), 2-Bromfluoren (2-BrF), 9-Chlorfluoren (ClF), 9-Hydroxyfluoren (HF), 2-Nitrofluorenon (NF), Fluoren (F) sowie 2-Acetylfluoren (2-AF) verminderten bei Applikation über die Wurzeln in 5×10^{-4} - und 10^{-4} -molarer Konzentration die Welkesymptome und Gefäßbräunungen z.T. drastisch. Dabei besitzen sie sowohl protektive als auch kurative Effekte gegenüber dem Welkeerregere Fusarium. Auch wurden durch diese Präparate die Ausbreitung und Vermehrung von Fusarium in den Gefäßen der Pflanzen sehr stark eingeschränkt. Die Wirkstoffe HF, 9-F, NF, 2-BrF, 9-BrF und ClF schädigten in höherer Konzentration die unteren Blätter der Tomatenpflanzen, indem sie Nekrosen hervorriefen.

Bei Blattbehandlung war die therapeutische Wirkung der Substanzen 9-BrF, 2-BrF, HF und NF wesentlich geringer.

2. Die Verticillium-Welke wurde durch einige Fluoren-Derivate (NF, HF, 2-AF, FH) sowohl bei prä- als auch bei postinfektioneller Behandlung vermindert. Hierbei erwiesen sich die prophylaktischen Effekte etwas besser als die kurativen Wirkungen. Allerdings waren die Einflüsse dieser Verbindungen gegenüber der Verticilliose nicht immer so deutlich wie gegenüber der Fusariose. Die Indizes für die Gefäßbräunungen lagen weit höher als die Werte für die Welkeerscheinungen. Auch in diesem Fall hemmten die stärker welkereduzierenden Verbindungen (NF, HF und 2-AF) die Besiedlung der Gefäße durch Verticillium.

3. Die Halogen-Verbindungen und HF beeinträchtigten sowohl das Myzelwachstum auf Czapek-Dox-Agar als auch die Sporenkeimung und Keimschlauchentwicklung von Fusarium und Verticillium am deutlich-

sten. Die Verbindungen F, NF und 2-AF verminderten im Plattentest das Wachstum der beiden Gefäßparasiten nicht, reduzierten aber die Entwicklung der Keimschläuche noch bei $10^{-5}M$ beträchtlich.

4. Die Prüfung der Blutungssäfte von zuvor mit Wirkstoffen behandelten Pflanzen auf ihre antimykotischen Eigenschaften führte zu folgenden Ergebnissen: Die eindeutigste Hemmwirkung auf die Keimung der Konidien und die Keimschlauchlänge von Fusarium übten die Exsudate der mit FH behandelten Pflanzen aus. Die Blutungssäfte der mit F, NF und 2-AF behandelten Tomaten beeinflussten den Anteil ausgekeimter Konidien nicht, reduzierten jedoch die Wachstumsintensität der Keimschläuche. Lediglich die Exsudate FH behandelter Pflanzen reduzierten die Keimschlauchentwicklung von Verticillium.
5. Bei präinfektioneller Blattapplikation ($5 \times 10^{-4}M$ und $10^{-4}M$) verringerten folgende Verbindungen mit zunehmender Intensität den Phytophthora-Befall: 9-Thiofluoren (TF), 2-Bromfluoren (2-BrF), 9-Hydroxyfluoren (HF), 9-Aminofluoren-Hydrochlorid (AFH).
6. Die genannten Substanzen verminderten (z.B. bei $10^{-4}M$) sowohl im Plattentest auf Erbsen-Agar als auch in Nährlösung das Wachstum von Phytophthora infestans um etwa 40%. Die Wirkstoffe verhinderten in 10^{-3} -molarer Konzentration nicht nur die Auskeimung der Zoosporen, sondern verursachten mehr oder weniger starke Lysiserscheinungen, die z.B. auch noch bei $10^{-4}M$ TF sehr ausgeprägt waren. In der niedrigsten Dosierung ($10^{-5}M$) verursachten die Derivate TF, 2-BrF und AFH noch eine deutliche Hemmung des Längenwachstums der Keimschläuche, während ihr Einfluß auf die Keimhäufigkeit sehr stark zurückging.

7. Nur AFH induzierte in Phytophthora-infizierten wie in nichtinfizierten Tomatenblättern eine erhebliche Zunahme der Peroxydase-Aktivität.

IV. Versuche mit Phenanthren-Derivaten

1. Phenanthren und einige seiner Derivate verminderten sowohl bei ausschließlicher prä- als auch postinfektioneller Wurzelapplikation die durch Fusarium verursachten Welkeerscheinungen und Gefäßbräunungen sehr deutlich. Die Verbindungen 1,2,3,4,5,6,7,8-Octahydrophenanthren (OHP), 1-Methylphenanthren (MP) und 3-Acetylphenanthren (3-AP) erwiesen sich als am wirksamsten. Blattbehandlung schien lediglich eine gewisse Verzögerung des Krankheitsverlaufs hervorzurufen.
2. Bei präinfektioneller Wurzelbehandlung verminderten die angewendeten Substanzen die durch Verticillium hervorgerufenen Welkesymptome sehr stark. Die Ausbreitung von Verticillium in den Stengeln der Tomatenpflanzen wurde durch die Substanzen Phenanthren (P), Phenanthren-9-aldehyd (PA) und 9-Cyanphenanthren (CP) am meisten reduziert. (Die Verbindungen OHP, HP, MP und 3-AP wurden gegen Verticillium nicht angewendet.)
3. Die Verbindungen 9,10-Phenanthrenchinon (PC) und Phenanthren-9-aldehyd (PA) zeigten im Platten- und im Sporenkeimtest die stärksten fungitoxischen Einflüsse gegenüber Fusarium und Verticillium. Die übrigen Phenanthren-Verbindungen hatten nur schwache antimykotische Eigenschaften.
4. Präinfektionelle Blattapplikation ($10^{-4}M$) mit P, PA, PC, 2-AP und CP blieb unwirksam gegenüber Phytophthora infestans.

V. Versuche mit Xanthen-Derivaten

1. Xanthen-9-carbonsäure (X-9-C) wirkt als Wachstumsregulator und beeinflusst die pflanzliche Morphogenese tiefgreifend. Folgende charakteristische Veränderungen im Habitus der Tomatenpflanzen traten auf: Hemmung des Zuwachses in den Sproßspitzen, Verkürzung der Internodien, verstärkter Blattachsel-austrieb, Reduktion der Blattspreiten der jüngeren Blätter, Drehungen und Krümmungen der Blattstiele. Die mit X-9-C behandelten Pflanzen können die Entwicklungshemmung überwinden.

Eine weitere Wirkung von X-9-C besteht in der Störung des Geo- und Phototropismus von Weizen- und Roggenkeimlingen.

2. Die Xanthen-Verbindungen Xanthen-9-carbonsäure, Chlorthiaxanthen (ClTX), Chlorthiaxanthon (ClTXO), Thioxanthen (TX) und Thioxanthon (TXO) zeichnen sich bei 10^{-4} -molarer Wurzelbehandlung durch eine ausgesprochen deutliche präventive wie kurative Wirkung gegenüber der Fusarium-Welke aus. Die Verbräunung des Xylems blieb ebenfalls auf die unteren Internodien begrenzt. Blattapplikation wirkte auch hier erheblich schwächer.
3. Die Xanthen-Derivate übten nur eine geringe Hemmwirkung auf das Myzelwachstum von Fusarium in vitro aus. Im Sporenkeimtest verminderten lediglich ClTXO und X-9-C (10^{-4} M) die Keimschlauchlänge und den Anteil gekeimter Konidien.

6. SCHRIFTTUM

- ANDEL, O.M. van, 1966. Mode of action of L-threo- β -phenylserine as a chemotherapeutant of cucumber scab. Nature, Lond., 211, 326-327.
- ANDEL, O.M. van, 1968. Shifts in disease resistance induced by growth regulators. Neth.J.Pl.Path. 74, Suppl. 1, 113-120.
- BECKMAN, C.H., 1959. Dutch elm disease control with polychlorobenzoic acid. Phytopathology 49, 227.
- BECKMAN, C.H., 1968. An evaluation of possible resistance mechanisms in broccoli, cotton, and tomato to vascular infection by *Fusarium*. Phytopathology 58, 429-433.
- BENNET-CLARK, T.A., 1956. Salt accumulation and mode of action of auxin: a preliminary hypothesis. In: WAIN, R.L. and F. WIGHTMAN, The chemistry and mode of action of growth substances, S. 284-291. London: Butterworth Scientific Publications.
- BICHEROV, E.V., 1968. Povyshenie ustoichivosti Khlopchatinka k vertitsilleznomu uvyadaniyu pri pomoshchi stimulyatorov rosta (Increasing the resistance of cotton to Verticillium wilt by means of growth regulators). Khimiya sel Khoz 6, (12), 33-34. (Ref. aus Rev. appl. Mycol. 48, 211, 1969)
- BOCKMANN, H., 1968. Phytopathological aspects of chlorocholine-chloride application. Euphytica 17, Suppl. 1, 271-274.
- BRENER, W.D. and C.H. BECKMAN, 1968. A mechanism of enhanced resistance to *Ceratocystis ulmi* in American elms treated with sodium trichlorophenylacetate. Phytopathology 58, 55-561.
- BURCHFIELD, H.P. and E.E. STORRS, 1969. Electronic and steric aspects of fungicidal action. In: TORGESSON, D.C., Fungicides - An advanced treatise, Vol. II, S. 61-100. Academic press, New York and London.
- CHAPMAN, R.A., 1951. Relation of specific chemotherapeutants in the infection court. Phytopathology 41, 6-7.
- CHAPMAN, R.A., A.E. DIMOND and E.M. STODDARD, 1950. Assaying chemotherapeutants in the greenhouse. Phytopathology 40, 4.

- CHITZANIDIS, A., 1960. Untersuchungen über das Verhalten von Kartoffel- und Tomatenrassen der Phytophthora infestans (Mont.) de Bary gegenüber organischen und anorganischen Fungiziden. Phytopath.Z. 40, 1-34.
- CORDEN, M.E., 1965. Influence of calcium nutrition on Fusarium wilt of tomato and polygalacturonase activity. Phytopathology 55, 222-224.
- CORDEN, M.E., 1969. Aromatic compounds. In: TORGESON, D.C., Fungicides - An advanced treatise, Vol. II, S. 477-529. Academic press: New York and London.
- CORDEN, M.E. and A.E. DIMOND, 1959. The effect of growth-regulating substances on disease resistance and plant growth. Phytopathology 49, 68-72.
- CORDEN, M.E. and L.V. EDGINGTON, 1960. A calcium requirement for growth regulator induced resistance to Fusarium wilt of tomato. Phytopathology 50, 625-626.
- CROWDY, S.H., S.R. ELIAS and D.R. JONES, 1958. The control of certain plant diseases with sulphonamides. Ann. appl. Biol. 46, 149-158.
- CROWDY, S.H. and R.L. WAIN, 1951. Studies on systemic fungicides. I. Fungicidal properties of the arylalkylcarboxyl acids. Ann. appl. Biol. 38, 318-333.
- DAHLGREN, G. and N.L. SIMMERSON, 1963. Intermolecular catalysis of hydrolysis of N-Dimethylamino-maleamic acid. Science 140, 485-486.
- DAVIS, D., 1952. Inducing disease resistance with plant growth regulators. Phytopathology 42, 563-567.
- DAVIS, D. and A.E. DIMOND, 1952. Altering resistance to disease with synthetic organic chemicals. Phytopathology 42, 563-567.
- DAVIS, D. and A.E. DIMOND, 1953. Inducing disease resistance with plant growth regulators. Phytopathology 43, 137-140.
- DAVIS, D. and A.E. DIMOND, 1956. Site of disease resistance induced by plant-growth regulators in tomato. Phytopathology 46, 551-552.
- DAVIS, D., CH.P. LO and A.E. DIMOND, 1954. Chemotherapeutic activity of unsubstituted heterocyclic compounds. Phytopathology 44, 680-683.
- DIMOND, A.E., 1962. Objectives in plant chemotherapy. Phytopathology 52, 1115-1118.

- DIMOND, A.E. and M.E. CORDEN, 1957. Reduction and promotion of the development of Fusarium wilt by gibberellic acid. *Phytopathology* 47, 519.
- DIMOND, A.E. and L. DAVIS, 1953. The chemotherapeutic activity of benzothiazole and related compounds for Fusarium wilt of tomato. *Phytopathology* 43, 43-44.
- DIMOND, A.E., L. DAVIS, R.A. CHAPMAN and E.M. STODDARD, 1952. Plant chemotherapy as evaluated by the Fusarium wilt assay on tomatoes. *Conn. Agric. Expt. Stat. Bull.* 557.
- DUNLEAVY, J. and J.F. KUNKEL, 1968. Inhibition of *Bacillus subtilis* by Amo-1618. *Phytopathology* 58, 456-459.
- EDGERTON, L.J., M.L. ROCKEY, H. ARNOLD and D.J. LISK, 1967. Colorimetric determination of Alar residues in apples. *Agric. and Food Chem.* 15, 812.
- EDGINGTON, L.V., 1962. The relation of fungitoxicity to translocation of n-alkyl quarternary ammonium compounds. *Phytopathology* 52, 923.
- EDGINGTON, L.V., 1964. Use of chromatography for selecting systemic quarternary ammonium fungicides. *Phytopathology* 54, 892.
- EDGINGTON, L.V., 1966. Effect of chain length of the alkyl quarternary ammonium compounds upon their use as systemic fungicides. *Phytopathology* 56, 23-25.
- EDGINGTON, L.V., M.E. CORDEN and A.E. DIMOND, 1961. The role of pectic substances in chemically induced resistance to Fusarium wilt of tomato. *Phytopathology* 51, 179-182.
- EDGINGTON, L.V. and A.E. DIMOND, 1959. Correlation between the wilt resistance of plants and the nature of their pectic substances. *Phytopathology* 49, 538.
- EDGINGTON, L.V. and A.E. DIMOND, 1960a. Controlling translocation of quarternary ammonium chemotherapeutants with cations and solvents. *Phytopathology* 50, 634.
- EDGINGTON, L.V. and A.E. DIMOND, 1960b. Effect of charge of ionized chemotherapeutants on their translocation through xylem. *Phytopathology* 50, 239-240.
- EISTERT, B., M. REEPITZ, G. HECK und H. SCHWALL, 1968. Methoden zur Herstellung und Umwandlung von aliphatischen Diazoverbindungen. In: HOUBEN-WEYL, Methoden der organischen Chemie 10/4, 569.

- ELGERSMA, D.M., 1967. Factors determining resistance of elms to Ceratocystis ulmi. Phytopathology 57, 641-642.
- ERWIN, D.C., H. MEE and J.J. SIMS, 1968a. The systemic effect of 1-(butylcarbamoyl)-2-benzimidazole carbamic acid methylester on Verticillium wilt in cotton. Phytopathology 58, 528-529.
- ERWIN, D.C., J.J. SIMS and J. PATRIDGE, 1968b. Evidence for the systemic, fungitoxic activity of 2-(4'-thiazolyl) benzimidazole in the control of Verticillium wilt of cotton. Phytopathology 58, 860-865.
- FARKAS, G.L. and M.A. STAHMANN, 1966. On the nature of changes in peroxidase isoenzymes in bean leaves infected by southern bean mosaic virus. Phytopathology 56, 669-677.
- FAWCETT, C.H.D., D.M. SPENCER and R.L. WAIN, 1955. Investigations on fungicides I. Fungicidal and systemic fungicidal activity in certain aryloxyalkanecarboxylic acids. Ann.appl.Biol. 43, 553-568.
- FAWCETT, C.H.D., D.M. SPENCER and R.L. WAIN, 1957. Investigations on fungicides II. Aryloxy- and arylthioalkanecarboxylic acids and their activity as fungicides and systemic fungicides. Ann.appl.Biol. 45, 158-176.
- FEHRMANN, H. and A.E. DIMOND, 1967. Peroxidase activity and Phytophthora resistance in different organs of the potato plant. Phytopathology 57, 69-72.
- FIESER, L.F. und M. FIESER, 1960. Lehrbuch der organischen Chemie. Verl. Chemie, Weinheim, Bergstr.
- FUCHS, A., 1964. Effect of treatment with anthraquinone derivatives on Fusarium infected tomato plants. Proceedings of the Symposium on Host-Parasite Relations in Plant Pathology, Budapest, 175-181.
- GAGNON, C., 1968. Peroxydase in healthy and diseases elm trees investigated by the benzidine histochemical technique. Can.J.Bot. 46, 1491-1494.
- GÄUMANN, E., 1963/64. Weitere Untersuchungen über die chemische Infektabwehr der Orchideen. Phytopath.Z. 49, 211-232.
- GÄUMANN, E., R. BRAUN und G. BAZZIGHER, 1950. Über induzierte Abwehrreaktionen bei Orchideen. Phytopath.Z. 17, 36-62.

- GLASZIOU, K., 1957. The effect of auxin on the binding of pectin methylesterase to cell wall preparations. *Austr.J.Biol.Sci.* 10, 426-434.
- GOLDSTEIN, J.L. and T. SWAIN, 1965. The inhibition of enzymes by tannins. *Phytochemistry* 4, 185-192.
- GOTHOSKAR, S.S., R.P. SCHEFFER, J.C. WALKER and M.A. STAHMANN, 1955. The role of enzymes in the development of Fusarium wilt of tomato. *Phytopathology* 45, 381-387.
- GROSSMANN, F., 1962a. Untersuchungen über die Hemmung pektolytischer Enzyme von *Fusarium oxysporum* f. *lycopersici*. III. Wirkung einiger Hemmstoffe in vivo. *Phytopath. Z.* 45, 139-159.
- GROSSMANN, F., 1962b. Therapeutische Wirkung von Pektinase-Hemmstoffen gegen die *Fusarium*-Welke der Tomate. *Naturwissenschaften* 49, 138-139.
- GROSSMANN, F., 1968. Studies on the therapeutic effects of pectolytic enzyme inhibitors. *Neth.J. Pl.Path.* 74, Suppl. 1, 91-103.
- GRÜNZEL, H., 1967. Probleme und Tendenzen bei der Entwicklung von Fungiziden. Sonderdruck Tagungsberichte No. 76, Chemie in der Landwirtschaft. Vorträge einer wissenschaftlichen Sektionstagung vom 8.-10. März 1965. Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin, S.135-144.
- HAY, J.R., 1956. The effect of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid and 2,3,5-triiodobenzoic acid on the transport of indoleacetic acid. *Plant Physiol.* 31, 118-120.
- HEILENZ, S., W. HÖFNER und K.H. NEUMANN, 1966. Biochemisches Praktikum. Inst. f. Pflanzenernährung, Univ. Gießen.
- HIJWEGEN, T., 1963. Lignification, a possible mechanism of active resistance against pathogens. *Neth.J.Pl.Path.* 69, 314-317.
- HORSFALL, J.G., 1956. Principles of fungicidal action. *Chronica Botanica Company*, Waltham, Mass., U.S.A.
- HORSFALL, J.G. and R.W. BARRATT, 1945. An improved grading system for measuring plant diseases. *Phytopathology* 35, 655.
- HORSFALL, J.G. and A.E. DIMOND, 1957. Interactions of tissue sugar, growth substances and disease susceptibility. *Z.Pfl. Krankh. PflPath. PflSchutz* 64, 415-421.

- HORSFALL, J.G. and S. RICH, 1953. Differential action of compounds on spore germination and hyphal growth. *Phytopathology* 43, 476.
- HORSFALL, J.G. and G.A. ZENTMYER, 1942. Antidoting the toxins of plant diseases. *Phytopathology* 32, 22-23.
- JUNG, J., 1967. Hydrazoniumsalze als Wachstumsregulatoren. *Landw.Forsch.* 20, 221-228.
- JUNG, J. und M.M. EL-FOULY, 1966. Über den Abbau von Chlorocholinchlorid (CCC) in der Pflanze. *Z.Pfl.ernährg., Düngg., Bodenkunde* 114, 128 - 134.
- KAARS SIJPESTEIJN, A., 1961. New development in the systemic combat of fungal diseases of plants. *T.Pl.-Ziekten* 67, 11-20.
- KAARS SIJPESTEIJN, A. and H.D. SISLER, 1968. Studies on the mode of action of phenylthiourea, a chemotherapeutant for cucumber scab. *Neth.J. Pl.Path.* 74, Suppl. 1, 121-126.
- KENDE, H., H. NINNEMANN and A. LANG, 1963. Inhibition of gibberellic acid biosynthesis in *Fusarium moniliforme* by Amo-1618 and CCC. *Naturwissenschaften* 50, 599-600.
- KEITT, G.W., JR., 1960. Effects of certain growth substances on elongation and geotropic curvature of wheat roots. *Bot.Gaz.* 122, 51-62.
- KEYWORTH, W.G. and A.E. DIMOND, 1952. Root injury as a factor in the assessment of chemotherapeutants. *Phytopathology* 42, 311-315.
- KHAN, A.A. and M.A. FAUST, 1967. Effect of growth retardants on α -amylase production in germinating barley seed. *Physiol.Plant* 20, 673-681.
- KIRÁLY, Z., E.BÓSCA and J. VÖROS, 1962. Effect of treatment of wheat seed with gibberellic acid on smut infection. *Phytopathology* 52, 171-172.
- KÖNIG, K.H., 1968. N,N-Dimethylhydrazoniumsalze als neue Wachstumsregulatoren. *Naturwissenschaften* 55, 217-219.
- KRELLE, E. und E. LIBBERT, 1967. Wirkung eines Morphaktins auf die Amylase-Synthese im Gerstenendosperm. *Planta (Berl.)* 76, 179-181.
- KRELLE, E. and E. LIBBERT, 1968a. Inhibition of the polar auxin transport by a morphactin. *Planta (Berl.)* 80, 317-320.

- KRELLE, E. and E. LIBBERT, 1968b. Are morphactins specific or nonspecific blockers of tropisms? *Experientia* 24, 293.
- LANGERFELD, E., 1969. Untersuchungen über den Einfluß von Chlorocholinchlorid (CCC) auf Fuß- und Ährenkrankheiten des Weizens. Diss. Gießen.
- LINSER, H. und O. KIERMAYER, 1958. Pflanzliche Formbildung - experimentell gesteuert. *Naturwiss.Rundschau* 11, 47-51.
- LOVREKOVICH, H., L.LOVREKOVICH and M.A.STAHMANN, 1968. The importance of peroxidase in the wildfire disease. *Phytopathology* 58, 193-198.
- MACKO, V., W.WOODBURY and M.A. STAHMANN, 1968. The effect of peroxidase on the germination and growth of mycelium of *Puccinia f.sp. tritici*. *Phytopathology* 58, 1250-1254.
- MANN, J.D., H. HIELD, K. YUNG and D. JOHNSON, 1966. Independence of morphactin and gibberellin effects upon higher plants. *Plant Physiol.* 41, 1751-1752.
- MARTH, P.C. and J.R.FRANK, 1961. Increasing tolerance of soybean plants to some soluble salts through application of plant growth-retardant chemicals. *Agric.and Food Chem.* 9, 359.
- MARTH, P.C., W.H.J.R. PRESTON and J.W. MITCHELL, 1953. Growth controlling effects of some quarternary ammonium compounds on various species of plants. *Bot. Gaz.* 115, 200-204.
- MATTA, A. and A.E. DIMOND, 1963. Symptoms of *Fusarium* wilt in relation to quantity of *fungus* enzyme activity in tomato stems. *Phytopathology* 53, 574-578.
- McNEW, G.L. and H.P. BURCHFIELD, 1951. Fungitoxicity and biological activity of quinones. *Contr.Boyce Thompson Inst.*, 16, 357-374. (Zit.nach: J.G.HORSFALL, 1956)
- MOHR, G., D. ERDMANN und G.SCHNEIDER, 1967. Morphaktine - eine neue Klasse von Pflanzenwachstumsregulatoren. *Merck-Blätter* 17, Folge 2, 1-9.
- MOHR, G., 1969. Morphaktine, eine neue Gruppe von Wachstumsregulatoren, ihre Chemie und Biochemie. *Dtsch.Bot.Ges. Neue Folge*, No.3, 5-18.
- MORELLI, L. and G. MISLER, 1947. Action of 2-aminofluoren on moulds. *Nature, Lond.*, 160, 21-22.
- MÜLLER, J. und H. MELCHINGER, 1964. Methoden der Mikrobiologie. Stuttgart: Franckh'sche Verlagshandlung.

- NINNEMANN, H., J.A.D. ZEEVART, H.KENDE and A. LANG, 1964. The plant growth retardant CCC as inhibitor of gibberellin biosynthesis in *Fusarium moniliforme*. *Planta (Berl.)* 61, 229-235.
- PARISH, R.W., 1969a. Studies on wheat peroxidase. *Aust.J. biol. Sci.* 22, 261-266.
- PARISH, R.W., 1969b. Effects of indoleacetic acid on liquification in wheat internodes and in vitro. *Aust.J.biol.Sci.* 22, 343-349.
- PATIL, S.S. and A.E. DIMOND, 1967a. Effect of sugars and sugar alcohols on production of polygalacturonase by *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Phytopathology* 57, 825.
- PATIL, S.S. and A.E. DIMOND, 1967b. Induction and repression of polygalacturonase synthesis in *Verticillium albo-atrum*. *Phytopathology* 57, 825.
- PRESLEY, J.T., H.R. CARNS, E.E.TAYLOR and W.C.SCHNATHORST, 1966. Movement of conidia of *Verticillium albo-atrum* in cotton plants. *Phytopathology* 56, 375.
- RAWLINS, T.E., 1962. The inhibitory effect of 2-chloroethyltrimethylammoniumchloride treatment on tobacco mosaic virus (TMV) multiplication. *Plant Dis.Reptr.* 46, 170.
- REED, D.J., 1965a. Tryptamine oxidation by extracts of pea seedlings effect of growth retardant β -hydroxyethylhydrazine. *Science* 148, 1097-1099.
- REED, D.J., 1965b. A possible mode of action of the plant growth retardant B-995. *Science* 148, 1469-1471.
- REID, J., 1958. Studies on the fusaria which cause wilt in melons. *Can.J.Bot.* 36, 394-410.
- RINGE, F., D. von DENFFER, 1967. Zur Kenntnis der Wirksamkeit von 2-Chlor-9-fluorenol-9-carbonsäure bei *Begonia semperflorens gracilis* und *Allium cepa*. *Wissenschaftl. Z. der Univ.Rostock* 16, 693-697.
- RUBIN, B.A. and T.M.IVANOV, 1963. On the oxidase function of plant peroxidase. *Lif.Sci.* 4, 281-289.
- SAALTIK, G.J., 1963. De ontwilckeling van *Fusarium oxysporum* in resistente en vatbare rassen van *lupinus luteus*. *T.Pl.-ziekten* 69, 3-75.

- SCHNEIDER, G., 1964. Eine neue Gruppe von synthetischen Wachstumsregulatoren. *Naturwissenschaften* 51, 416-417.
- SCHNEIDER, G. und H. FLEMMING, 1965. Aniten, ein neues, breit wirksames Getreide-Herbizid. *Z.PflKrankh. PflPath. PflSchutz, Sonderheft III*, 231-239.
- SCHÖNBERG, A., 1955. Herstellung und Umwandlung von Thioketonen. In: Houben-Weyl: Methoden der organischen Chemie 9, 710.
- SCHÖNBERG, A., K.H. BROROWSKI und E. SINGER, 1962. Versuche mit Thiofluorenon. *Chem.Ber.* 95, 2144.
- SCHOTT, H.-H. und H. SCHRAUDOLF, 1967. Die Wirkung einiger Derivate der 9-Fluorenol-9-carbonsäure auf die Regeneration von Begonien-Blattscheiben. *Z.Pflanzenphysiol.* 56, 387-396.
- SINHA, A.K. and R.K.S. WOOD, 1964. Control of *Verticillium* wilt of tomato plants with cycocel ((2-chloroethyl-)trimethylammonium chloride). *Nature, Lond.*, 202, 824.
- SINHA, A.K. and R.K.S. WOOD, 1967. The effect of growth substances on *Verticillium* wilt of tomato plants. *Ann.appl.Biol.* 59, 117-128.
- SMALLEY, E.B., 1962. Prevention of dutch elm disease by treatments with 2,3,6-trichlorophenyl acetic acid. *Phytopathology* 52, 1090-1091.
- SMITH, B.D. and A.T.K. KORKE, 1966. Effect of (2-chloroethyl-)trimethylammonium chloride on the eriophyd gall mite *Cecidophyopsis ribis* Nal. and three fungus diseases of black currant. *Nature, Lond.*, 212, 643.
- SOMERS, T.C. and A.F.HARRISON, 1967. Wood tannins - Isolation and significance in host resistance to *Verticillium* wilt disease. *Aust.J.Biol.Sci.* 20, 475-479.
- STEINBERG, R.A., 1940. Action of some organic compounds on yield, sporulation and starch formation of *Aspergillus niger*. *J.Agr.Res.* 60, 765-773. (Zit. nach J.G.HORSFALL (1956))
- STURM, H. und J. JUNG, 1964. Der Einfluß von Blattspritzungen mit Chlorcholinchlorid (CCC) auf Wachstum und Ertrag von Weizen. *Z.Acker- u.Pfl.Bau* 120, 232-252.

- TAHORI, A.S., G. ZEIDLER and A.H. HALEVY, 1965. Effekt of some plant growth-retarding compounds on three fungal diseases and one viral disease. Plant Dis.Rep. 49, 775-777.
- TEMPEL, A., 1969. Objectives in fungicide testing. World Rev.of Pest Control 8, 101-107.
- UMAERUS, V., 1959. The relationship between peroxidase activity in potato leaves and resistance to *Phytophthora infestans*. Amer. Potato J. 36, 124-131.
- VAARTAJA, O., 1956. Screening fungicides for controlling damping-off of tree seedlings. Phytopathology 46, 387-390.
- VAN DER BECK, L.C., 1959. Effect of 2,3,6-trichlorobenzoic acid and 2,6-dichlorobenzoic acid on the geotropic and phototropic responses of seedlings of various species. Plant Physiol. 34, 61-65.
- WAGGONER, P.E. and A.E. DIMOND, 1952. Effect of stunting agents, *Fusarium lycopersici* and maleic hydrazide upon phosphorus distribution in tomato. Phytopathology 42, 22.
- WAIN, R.L. and G.A. CARTER, 1967. Uptake, translocation and transformations by higher plants. In: Torgeson, D.C., Fungicides - An advanced treatise, Vol. I, pp.561-611. Academic press: New York and London.
- WEBER, D.J. and M.A. STAHMANN, 1964. Protein and isozyme patterns of sweet potatoes as related to acquired immunity. Phytopathology 54, 911.
- WEINDELMAYR, J., 1961. Versuche zu einer Beeinflussung der *Phytophthora*-Anfälligkeit verschiedener Kartoffelsorten durch Kurztag- und Wuchsstoffbehandlung. Bodenkultur 12, 41-50.
- WOOD, R.K.S., 1961. Verticillium wilt of tomatoes - the role of pectic and cellulolytic enzymes. Ann.appl.Biol. 49, 120-139.
- YAARWOOD, C.E., 1953. The function of lime and host leaves in the action of bordeaux mixture. Phytopathology 33, 1146-1156.
- ZEEVAART, J.A.D., 1955. Aminoazuren als koolstofbron voor *Fusarium oxysporum* in de houtvaten van lupine planten. T.Pl.-ziekten 61, 76-78.

- ZELLER, A.E., 1941. Fermentphysiologie und Fermentpathologie des weiblichen Organismus. Diaminoxydase und Cholinesterase. Schweiz. Med.Wochenschrift 22, 325-326.
- ZIEGLER, H.D. KÖHLER und B. STREITZ, 1966. Ist 2-Chlor-9-fluorenol-9-carbonsäure ein Gibberellinantagonist? Z.Pflanzenphysiol. 54, 118-124.
- ZIEGLER, H. und I. VOGT, 1968. Über die Abscheidung von C¹⁴-Fluorenol durch Guttation. Z. PflKrankh. PflPath. PflSchutz, Sonderheft IV, 115-117.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. F. Großmann für die Überlassung des Themas, die vielfältige Unterstützung und das stete Interesse am Fortgang der Arbeit.

Zugleich danke ich Herrn Dr. G. Menke für seine wertvollen Ratschläge und ständige Hilfsbereitschaft.

Ferner möchte ich mich bei allen Institutsangehörigen für ihre Unterstützung bei der Durchführung dieser Arbeit bedanken.

Lebenslauf

20.2.1940 geboren als Sohn des Landwirts Heinrich
Buchenauer und seiner Ehefrau Margarete,
geb. Dersch, in Warzenbach, Kreis Marburg

1946-1954 Besuch der Volksschule in Warzenbach,
Kreis Marburg

1954-1961 Besuch des Aufbaugymnasiums in Laasphe,
Kreis Berleburg

1961 Reifeprüfung

1961 Landwirtschaftslehre in Walsrode

1962 Landwirtschaftslehre in Rauisch-Holzhausen
mit abschließender Praktikantenprüfung

1962-1966 Studium der Landwirtschaft an den Uni-
versitäten Gießen und Göttingen

1966 Diplomprüfung in Gießen

1967-1970 Anfertigung der vorliegenden Arbeit

Lebenslauf

1945-1946	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1946-1947	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1947-1948	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1948-1949	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1949-1950	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1950-1951	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1951-1952	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1952-1953	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1953-1954	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1954-1955	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1955-1956	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1956-1957	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1957-1958	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1958-1959	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1959-1960	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1960-1961	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1961-1962	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1962-1963	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1963-1964	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1964-1965	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1965-1966	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1966-1967	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1967-1968	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1968-1969	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1969-1970	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1970-1971	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1971-1972	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1972-1973	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1973-1974	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1974-1975	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1975-1976	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1976-1977	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1977-1978	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1978-1979	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1979-1980	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1980-1981	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1981-1982	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1982-1983	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1983-1984	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1984-1985	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1985-1986	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1986-1987	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1987-1988	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1988-1989	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1989-1990	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1990-1991	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1991-1992	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1992-1993	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1993-1994	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1994-1995	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1995-1996	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1996-1997	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1997-1998	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1998-1999	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
1999-2000	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
2000-2001	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
2001-2002	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
2002-2003	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
2003-2004	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
2004-2005	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
2005-2006	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
2006-2007	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
2007-2008	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
2008-2009	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
2009-2010	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
2010-2011	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
2011-2012	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
2012-2013	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
2013-2014	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
2014-2015	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
2015-2016	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
2016-2017	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
2017-2018	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
2018-2019	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
2019-2020	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
2020-2021	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
2021-2022	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
2022-2023	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
2023-2024	Landwirtschaftliche Schule in Weiden
2024-2025	Landwirtschaftliche Schule in Weiden

